

Sur le procédé

ELEMENTS KLH[®]-CLT NERVURES

Titulaire : Société **KLH – MASSIVHOLZ GmbH**

Internet : www.klh.at

Distributeur : Société **LIGNATEC**

Internet : www.lignatec.fr

Descripteur :

Les éléments KLH[®]-CLT nervurés sont des éléments de structure bois de grandes dimensions qui se composent de panneaux contrecollés KLH[®]-CLT formant le tablier de compression et de poutres en bois jouant le rôle de nervures. Le procédé consiste à augmenter l'inertie du panneau KLH[®]-CLT grâce à l'ajout des nervures permettant de rigidifier le panneau.

On distingue trois typologies d'éléments :

- Panneau KLH[®]-CLT type L ou Q avec nervures rapportée ;
- Caisson : Panneau KLH[®]-CLT type L + nervures + Panneau KLH[®]-CLT type L ;
- Murs KLH[®]-CLT type Q nervuré M (fig.4).

Groupe Spécialisé n° 3.3 - Structures tridimensionnelles, ouvrages de fondation et d'infrastructure

Famille de produit/Procédé : Panneaux structuraux en bois contrecollé-croisé, nervurés, utilisés en mur et plancher

AVANT-PROPOS

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

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

Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
V1	Nouvelle demande.	Loïc PAYET	Roseline BERNARDIN-EZLAN

Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé	6
1.1.	Définition succincte	6
1.1.1.	Description succincte	6
1.1.2.	Identification	6
1.2.	AVIS.....	6
1.2.1.	Domaine d'emploi accepté.....	6
1.2.2.	Appréciation sur le procédé	8
1.2.3.	Prescriptions Techniques	11
1.2.4.	Prescriptions techniques dans le cas de l'utilisation en support d'étanchéité de toitures terrasses et toitures inclinées 14	
1.2.5.	Prescriptions techniques dans le cas de l'utilisation en support de couverture	16
1.3.	Remarques complémentaires des Groupes Spécialisés	17
1.4.	Annexes de l'Avis du Groupe Spécialisé.....	18
1.4.1.	Dimensionnement des planchers	18
1.4.2.	Dimensionnement des murs	20
2.	Dossier Technique.....	22
2.1.	Données commerciales	22
2.1.1.	Coordonnées	22
2.2.	Description.....	22
2.3.	Domaine d'emploi	22
2.4.	Éléments et matériaux.....	24
2.4.1.	Panneaux bois massifs contrecollés CLT	24
2.4.2.	Nervures	24
2.4.3.	Muralières	24
2.4.4.	Colles	24
2.5.	Description des éléments KLH®-CLT nervurés	24
2.5.1.	Caractéristiques physiques des éléments KLH®-CLT Nervurés	28
2.6.	Fabrication	29
2.7.	Contrôles de fabrication	29
2.7.1.	Essais mécaniques.....	29
2.7.2.	Contrôle interne de fabrication	30
2.7.3.	Contrôle externe de fabrication	30
2.8.	Dimensionnement – Généralités.....	30
2.9.	Dimensionnement des planchers KLH® nervurés	31
2.9.1.	Principe de calcul	31
2.9.2.	Résistance à la flexion.....	32
2.9.3.	Résistance au cisaillement	33
2.9.4.	Compression perpendiculaire au fil au niveau des appuis.....	35
2.9.5.	Vérifications ELS	37
2.9.6.	Dimensionnement des éléments KLH®-CLT nervurés sous charges horizontales (diaphragme).....	38
2.9.7.	Réservation dans les éléments KLH®-CLT nervurés	39
2.9.8.	Vérification des éléments KLH®-CLT nervurés avec trémis	42
2.10.	Dimensionnement des éléments KLH®-CLT nervurés utilisés en tant que porteurs verticaux avec nervures placées du côté extérieur au panneau KLH®-CLT	42
2.10.1.	Reprise des charges perpendiculaires à la surface des éléments KLH®-CLT nervurés	42
2.10.2.	Reprise des charges verticales parallèle à la surface des éléments KLH®-CLT nervurés T	42
2.10.3.	Reprise des charges verticales parallèle à la surface des éléments KLH®-CLT nervurés M (avec muralière) ..	43

2.10.4.	Reprise des charges horizontales dans le plan des éléments KLH®-CLT nervurés T, muralière M : Contreventement.....	45
2.10.5.	Vérification des déformations	46
2.10.6.	Rainurage dans les panneaux de murs	46
2.11.	Dimensionnement des éléments KLH®-CLT nervuré au séisme et au feu.....	47
2.11.1.	Dimensionnement au séisme	47
2.11.2.	Dimensionnement au feu.....	47
2.12.	Mise en œuvre.....	47
2.12.1.	Dispositions générales relatives aux assemblages.....	47
2.12.2.	Dispositions relatives à l'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau	55
2.12.3.	Dispositions spécifiques relatives au montage	57
2.12.4.	Dispositions de transport et de stockage	57
2.12.5.	Dispositions concernant les parements intérieurs et extérieurs	58
2.13.	Distribution et assistance technique.....	59
2.14.	Résultats expérimentaux.....	59
2.15.	Références	59
2.15.1.	Données Environnementales	59
2.15.2.	Autres références	59
2.16.	Annexes du Dossier Technique.....	61
3.	Annexe utilisation en support d'étanchéité	71
3.1.	Généralités.....	71
3.1.1.	Principe.....	71
3.1.2.	Destination d'emploi	71
3.2.	Prescriptions relatives aux toitures inaccessibles, techniques et végétalisées	72
3.2.1.	Généralités	72
3.2.2.	Stockage, approvisionnement	72
3.2.3.	Isolants thermiques non porteurs supports d'étanchéité	72
3.2.4.	Revêtements d'étanchéité	73
3.2.5.	Protections	74
3.2.6.	Dispositions particulières pour les toitures froides.....	74
3.3.	Dispositions relatives aux terrasses accessibles aux piétons et au séjour.....	74
3.3.1.	Généralités.....	74
3.3.2.	Couche de protection de l'élément porteur.....	74
3.3.3.	Isolant thermique non porteur support d'étanchéité.....	75
3.3.4.	Revêtement d'étanchéité.....	75
3.3.5.	Traitement des relevés.....	75
3.3.6.	Protections	75
3.3.7.	Dispositions de contrôle par manchons.....	75
3.4.	Cas des terrasses avec élément porteur pente nulle, avec isolant FOAMGLAS penté, en climat de plaine (cf. Fig. A.10)	75
3.5.	Habillage ou plafond suspendu.....	76
3.6.	Dispositions particulières au climat de montagne	76
3.7.	Entretien et réparation.....	77
3.8.	Organisation de la mise en œuvre et assistance technique	77
3.9.	Conditions d'acceptation du support	77
4.	Annexe en support de couvertures	86
4.1.	Généralités.....	86
4.1.1.	Principe.....	86
4.1.2.	Destination.....	86
4.1.3.	Type d'isolation.....	86
4.1.4.	Types de couvertures.....	89

4.2.	Complément d'isolation par l'intérieur (isolant sous l'élément KLH®-CLT nervuré)	89
4.3.	Conception, coordination et dimensionnement	90
4.3.1.	Conception et coordination	90
4.3.2.	Dimensionnement des éléments KLH®-CLT nervurés et pièces de bois par le lot « structure »	90
4.3.3.	Dimensionnement de la couverture par le lot « couverture »	90
4.4.	Mise en œuvre	91
4.4.1.	Organisation de la mise en œuvre	91
4.4.2.	Configurations de pose (cf. fig.B.2)	91
4.4.3.	Assemblages des éléments KLH®-CLT nervurés (cf. fig.B.1)	91
4.4.4.	Accessoires complémentaires	91
4.4.5.	Fixations des panneaux	91
4.4.6.	Mise en œuvre du pare-vapeur	91
4.4.7.	Pièces de bois support de couverture et leurs fixations	91
4.4.8.	Traitement des points singuliers	92
4.5.	Couvertures en climat de plaine	92
4.5.1.	Isolation	92
4.5.2.	Écran de sous-toiture (climat de plaine uniquement)	93
4.5.3.	Couverture	93
4.5.4.	Traitement des points singuliers	94
4.6.	Mise en œuvre en climat de montagne (lot couverture)	95
4.6.1.	Généralités (cf. fig. B12)	95
4.6.2.	Étanchéité complémentaire mise en œuvre sur platelage bois ventilé en sous-face	95
4.6.3.	Ventilation de la couverture et de l'étanchéité complémentaire, mise en œuvre de l'isolation thermique	95
4.6.4.	Couvertures en toiture froide en climat de montagne	95
4.7.	Assistance technique	96
4.8.	Calcul des résistances thermiques permettant de vérifier la règle du 1/3 – 2/3 ou du 1/4 – 3/4	96

1. Avis du Groupe Spécialisé

Les Groupes Spécialisés n° 3.3 - Structures tridimensionnelles, ouvrages de fondation et d'infrastructure, n° 5.2 - Produits et procédés d'étanchéité de toitures-terrasses, de parois enterrées et cuvelage, n°5.1 - Produits et procédés de couvertures et n°20 - Produits et procédés spéciaux d'isolation de la Commission chargée de formuler les Avis Techniques ont examiné, le 06/09/2021, 13/12/2022 et 24/02/2022 le procédé ELEMENTS KLH®-CLT NERVURES, présenté par la Société KLH. Il a formulé, sur ce procédé, l'Avis Technique ci-après. L'avis a été formulé pour les utilisations en France métropolitaine.

1.1. Définition succincte

1.1.1. Description succincte

Les éléments KLH®-CLT nervurés sont des éléments de structure bois de grandes dimensions qui se composent de panneaux contrecollés KLH®-CLT formant le tablier de compression et de poutres en bois jouant le rôle de nervures. Le procédé consiste à augmenter l'inertie du panneau KLH®-CLT grâce à l'ajout des nervures permettant de rigidifier le panneau.

Les nervures sont soit en bois lamellé collé ou bois massif reconstitué conforme à la norme NF EN 14080, soit en bois massif conforme à la norme NF EN 14081. Ces composants (panneaux KLH®-CLT et nervures) sont collés entre eux structurellement à l'aide d'une colle polyuréthane ou résorcine.

On distingue plusieurs typologies d'éléments :

- Panneau KLH®-CLT type L ou Q avec nervures rapportée (fig.1 et 2) ;
- Caisson : Panneau KLH®-CLT type L + nervures + Panneau KLH®-CLT type L (fig.3) ;
- Murs KLH®-CLT type Q nervuré M (fig.4).

Les dimensions maximales des éléments KLH®-CLT nervurés sont : 16.5m de long, par 2.95m de large et sur demande jusqu'à 3.50 m.

L'épaisseur minimale des panneaux KLH®-CLT doit être conforme aux épaisseurs du Document Technique d'Application n° 3.3/20-1016_V1, sans pour autant inférieure à 60 mm.

L'entraxe et le nombre des nervures sont adaptés suivant les contraintes statiques et architecturales et selon le procédé d'enveloppe (bardage, couverture). Des exemples de répartition de nervures sont présentés à la figure 28 du §2.16 Dossier Technique.

Les différents éléments KLH®-CLT nervuré visés par cet Avis Technique sont décrits au §2.5 du Dossier Technique.

1.1.2. Identification

Les panneaux nervurés ne sont pas considérés comme des produits à part entière du fait qu'il n'y a pas de norme produit.

Chaque élément KLH®-CLT nervuré fabriqué est identifiés par :

- Le type d'élément ;
- La référence de la commande ;
- La référence de pose de l'élément dans l'ouvrage.

1.2. AVIS

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

1.2.1. Domaine d'emploi accepté

Le domaine d'emploi accepté par le Groupe Spécialisé n°3.3, à savoir les utilisations dans les bâtiments industriels, bâtiments d'habitation de la 1^{ère} à la 4^{ème} famille, de bureaux ou Etablissements Recevant du Public, en réhabilitation ou en construction neuve, dans les conditions énoncées aux paragraphes ci-après. Ils peuvent être utilisés pour la réalisation de travaux de surélévation sous réserve que la structure existante puisse reprendre les charges induites par cette surélévation.

Les limitations du domaine d'emploi résultent du respect de la réglementation en vigueur applicable aux bâtiments, notamment vis-à-vis du Règlement de Sécurité pour la Construction ainsi que du domaine d'emploi des panneaux KLH®-CLT conformément au Document Technique d'Application n° 3.3/20-1016_V1 qui le constitue.

Le procédé KLH®-CLT nervurés est destiné à la réalisation d'ouvrages de structure en classe de service 1 et 2 au sens de la norme NF EN 1995-1-1 et en classe d'emploi 1 et 2 au sens de la norme NF EN 335.

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

L'Avis n'est pas formulé pour les utilisations dans les DROM.

Les panneaux KLH nervurés peuvent être utilisés en murs porteurs ou non, en planchers, en éléments porteurs et support d'étanchéité en toitures-terrasses et en support de couverture.

Le présent Avis Technique ne vise pas les cas suivants :

- Les cloisons lourdes (masse > 250 kg/ml) parallèles au sens de portée des panneaux KLH®-CLT nervurés ;

- Les panneaux KLH®-CLT nervurés adjacents et liés, dont le rapport des portées n'est pas compris entre 0,9 et 1,10 et, d'une manière générale toute situation pouvant conduire à des cisaillements verticaux importants à la liaison entre deux panneaux successifs. Des rapports de portées différents peuvent être admis à la condition de réaliser une étude définissant le liaisonnement entre les éléments permettant de reprendre le cisaillement différentiel entre panneaux ;
- Les utilisations sous charges pouvant entraîner des chocs ou des phénomènes de fatigue n'ont pas été examinées dans le cadre du présent Avis ;
- L'utilisation des planchers béton sur des murs KLH®-CLT nervurés ;
- L'utilisation des murs KLH®-CLT nervurés en poutre-voile ;
- Les éléments KLH®-CLT nervurés caisson H en tant que murs verticaux.

L'Avis n'est valable que si la température n'excède pas 50°C en service continu au niveau du plan de collage (pour la situation d'incendie se reporter au §1.2.2.1).

Les contreflèches de fabrication ne sont pas autorisées.

Le domaine d'emploi proposé est limité aux locaux à faible ou moyenne hygrométrie, à l'exclusion des locaux à forte et très forte hygrométrie, c'est à dire ceux pour lesquels $W/n > 5g/m^3$, avec :

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

Les procédés KLH®-CLT nervurés traités par des produits d'ignifugation ne sont pas visés par le présent Avis.

L'aptitude au lavage des éléments KLH®-CLT nervurés n'est pas visée par le présent Avis.

Les ouvrages enterrés en KLH®-CLT nervurés sont exclus du domaine d'emploi.

Les éléments porteurs horizontaux compatibles avec les murs porteurs réalisés avec des éléments KLH®-CLT nervurés sont les suivants :

- Les planchers (ou toitures) réalisés avec les éléments KLH®-CLT nervurés ;
- Les planchers mixtes bois-béton sous Avis Technique ;
- Les structures bois conformes aux NF DTU 31.1, NF DTU 31.2, NF DTU 31.3;
- Toute structure à éléments porteurs en bois ou à base de bois calculée selon la NF EN 1995-1-1 y compris incluant des porteurs métalliques calculés selon l'Eurocode 3 ;
- Plancher haut de sous-sol en béton.

Les éléments porteurs verticaux compatibles avec les planchers réalisés avec des éléments KLH®-CLT nervurés sont les suivants :

- Les murs réalisés avec des éléments KLH®-CLT nervurés ;
- Les murs en béton conformes au NF DTU 21, NF DTU 23.1 ;
- Les murs en maçonnerie de petits éléments conformes au NF DTU 20.1 ;
- Les structures bois conformes aux NF DTU 31.1, NF DTU 31.2;
- Toute structure à éléments porteurs en bois ou à base de bois calculée selon la NF EN 1995-1-1 y compris incluant des porteurs métalliques calculés selon l'Eurocode 3.

Précisions du domaine d'emploi accepté dans le cas de l'utilisation en mur et planchers

Pour la réalisation des planchers, le procédé est limité à la reprise de charges à caractère statique ou quasi-statique pour des catégories d'usage A, B, C1, C2, C3, D1, E1, H, I au sens de la norme NF EN 1991-1-1. Les chariots élévateurs ne sont pas visés par l'Avis Technique.

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.

L'utilisation en tant que plancher intermédiaire sur volume non-chauffé ou sur vide sanitaire n'est pas visé par le présent Avis Technique.

Précisions du domaine d'emploi accepté dans le cas de l'utilisation en support d'étanchéité de toitures-terrasses et toitures inclinées

Les panneaux structuraux KLH®-CLT nervurés sont utilisés (cf. § 3) en travaux neufs :

- Sur tous types de construction.
- En France métropolitaine en climat de plaine et de montagne, hors DROM.
- En toitures :
 - Inaccessibles, avec chemins de circulation éventuels, sans terrasses à rétention temporaire des eaux pluviales,
 - Inaccessibles avec procédés d'étanchéité photovoltaïques avec modules souples bénéficiant d'un Avis Technique,
 - A zones techniques, sans chemins de roulement des appareils d'entretien de façades,
 - Végétalisées de pente minimum 3 %,
 - Accessibles aux piétons et au séjour avec une protection par dalles sur plots ou par platelage bois selon le §3.3.

Les toitures-terrasses à rétention temporaire des eaux pluviales ne sont pas revendiquées.

- Sous des systèmes d'étanchéité :
 - En toitures froides uniquement en bâtiments non isolés, ouverts et ventilés par l'air l'extérieur (seuls les éléments KLH®-CLT Nervuré ouvert - KLH®-CLT Nervuré T - sont envisagés, cf. § 3.2.6) ou en toitures chaudes,
 - Avec un revêtement d'étanchéité indépendant, semi-indépendant ou adhérent,
 - En apparent (hors toitures froides) ou sous protection lourde,

- En asphalte ou mixte sous asphalte bénéficiant d'un Avis Technique, en feuilles bitumineuses ou en membrane synthétique bénéficiant d'un Document Technique d'Application.
- Le procédé « Eléments KLH®-CLT nervurés » vise également les toitures-terrasses inversées (hors toitures accessibles aux piétons), lorsqu'il est associé à un panneau isolant de polystyrène extrudé bénéficiant d'un Document Technique d'Application.
- Les pentes sur plan des toitures inaccessibles, techniques et accessibles aux piétons sont dépendantes du critère de dimensionnement choisi :
 - $\geq 3 \%$, lorsque les éléments KLH®-CLT nervurés sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges, limité au $1/250^e$ de la portée,
 - $\geq 1,8 \%$, lorsque les éléments KLH®-CLT nervurés sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges, limité au $1/400^e$ de la portée,
 - $\geq 1,6 \%$, lorsque les éléments KLH®-CLT nervurés sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges, limité au $1/500^e$ de la portée,
 - $\geq 3 \%$ pour les terrasses et toitures végétalisées.

Sont également visés les toitures-terrasses (hors toitures végétalisées), avec élément porteur à pente nulle, avec une isolation support d'étanchéité en Foamglas Tapered collé en plein à l'EAC, en France métropolitaine (hors DOM) en climat de plaine, selon les dispositions définies au §3.4.

Précision du domaine d'emploi accepté dans le cas de l'utilisation en support de couverture

Les éléments KLH®-CLT nervurés sont utilisés selon le § 4 du Dossier Technique, comme éléments porteur support de couverture plane, en France métropolitaine (hors DOM), y compris en zones sismiques, en construction neuve ou en rénovation.

Ils peuvent être utilisés en climat de plaine et de montagne (Altitude > 900 m), au-dessus de locaux à hygrométrie faible et moyenne c'est-à-dire pour lesquels le rapport $W/n \leq 5 \text{ g/m}^3$, où W est la quantité de vapeur produite à l'intérieur du local par heure en g/m^3 et n le taux de renouvellement de l'air.

Ils sont mis en œuvre sur des structures porteuses en béton ou maçonneries, métalliques ou en bois suivant les préconisations du Dossier Technique.

Ils sont support d'isolation mise en œuvre entre chevrons ou en continu. Dans ce deuxième cas, on se référera aux prescriptions des Avis Techniques ou Documents Techniques d'Application relatifs aux procédés « Sarking ».

1.2.2. Appréciation sur le procédé

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

Stabilité

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

Sécurité en cas d'incendie

Résistance au feu

Conformément aux conditions prévues par l'Arrêté du 14 mars 2011 modifiant l'arrêté du 22 mars 2004 modifié relatif à la résistance au feu des produits, éléments de construction et d'ouvrages, les panneaux KLH®-CLT nervurés, 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 N°AL 20-291 du 03/02/2022.

Réaction au feu

Les éléments KLH®-CLT nervurés bénéficient d'un classement conventionnel en réaction au feu D-s2,d0 selon la norme NF EN 13501-1. L'adéquation entre ce classement et les exigences réglementaires doit être examinée au cas par cas en fonction du type de bâtiment et de l'emplacement du panneau dans l'ouvrage.

Propagation du feu aux façades

Les dispositions constructives permettant de limiter le risque de propagation du feu par les façades dont la participation à l'indice C+D (écran thermique, jonction façade/plancher) sont déterminées par application de l'Appréciation de Laboratoire au feu n°AL 20-291 du 03/02/2022.

Dans le cas d'intégration des modénatures de façade et/ou de brises soleil ou de spécifications complémentaires sur les côtes C+D vis-à-vis d'éléments non explicitement visés dans l'Appréciation de Laboratoire au feu n°AL 20-291 du 03/02/2022 un Avis de chantier conformément à l'Arrêté du 22 mars 2004 modifié devra être réalisé.

Sécurité en cas d'incendie pour une utilisation en support d'étanchéité de toitures-terrasses et toitures inclinées

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

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

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

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

- Vis-à-vis du feu de l'intérieur

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

Les panneaux KLH®-CLT nervurés ont fait l'objet d'une appréciation de laboratoire n° AL 20-291 du 03/02/2022 permettant de considérer que les éléments respectent les dispositions en matière de protection des isolants non A2 vis à vis d'un feu intérieur pour les bâtiments d'habitation et les Établissements Recevant du Public (ERP).

Sécurité en cas d'incendie pour une utilisation en support de couverture

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

Selon l'arrêté du 14 février 2003 relatif à la performance des toitures et couvertures de toitures exposées à un incendie extérieur, les couvertures relèvent d'un classement de réaction au feu A1 dans le cas des tuiles, des ardoises naturelles, des ardoises et des plaques en fibres-ciment et des couvertures en feuilles et longues feuilles métalliques. Elles relèvent du classement propre à chaque produit dans le cas des bardeaux bitumés.

- Vis-à-vis du feu provenant de l'intérieur

La sécurité en cas d'incendie provenant de l'intérieur doit être examinée au cas par cas en fonction de la destination des locaux. Les panneaux KLH®-CLT disposent d'un classement conventionnel de réaction au feu D-s2, d0 selon la norme NF EN 13501-1 ; Les panneaux KLH® ont fait l'objet d'appréciation de laboratoires de résistance au feu AL 20-291 (établi par le CSTB, du 03/02/2022) du permettant de considérer que ces éléments respectent les dispositions en matière de protection des isolants non A2 vis-à-vis d'un feu intérieur pour les bâtiments d'habitation, les locaux régis par le Code du Travail et les Établissements Recevant du Public (ERP) ; Lorsque le panneau est visible en sous-face, il fait office de plafond.

Prévention des accidents lors de la mise en œuvre

La sécurité du travail sur chantier peut être normalement assurée, en ce qui concerne le procédé proprement dit, moyennant les précautions habituelles à prendre pour la manutention d'éléments préfabriqués de grandes dimensions. Dans le cas où la phase de manutention génère des efforts nettement supérieurs à ceux subis par le panneau mis en œuvre dans l'ouvrage, les points d'attaches conçus et prescrits par KLH® 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 KLH®-CLT nervurés, doit être assurée au moyen d'un étaielement garantissant la stabilité particulière de chaque élément et la stabilité générale du bâtiment en cours de construction.

D'une manière générale, la mise en œuvre des panneaux KLH®-CLT nervurés impose les dispositions usuelles relatives à la sécurité des personnes contre les chutes de hauteur.

Pose en zones sismiques

Les panneaux KLH®-CLT nervurés peuvent satisfaire aux exigences de sécurité en cas de séisme sous réserve du respect des conditions précisées aux Prescriptions Techniques.

Isolation thermique

Afin de vérifier le respect des réglementations thermiques en vigueur, pour les bâtiments neufs et existants selon le cas, les bâtiments équipés de ce procédé doivent faire l'objet d'études énergétiques. Ces études doivent tenir compte des caractéristiques des produits mis en œuvre, notamment lorsqu'ils sont sous Avis Technique ou Document Technique d'Application.

L'arrêté du 26 octobre 2010 (Réglementation Thermique 2012) et le décret RE 2020 n°2021-1004 (Réglementation Thermique 2020) n'impose pas d'exigences minimales sur la transmission thermique surfacique des parois mais imposent des exigences sur les performances énergétiques globales du bâti.

Les constructions existantes sont soumises aux dispositions de l'arrêté du 22 mars 2017, relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants, qui définit la résistance thermique totale minimum que la paroi doit respecter lorsqu'il est applicable.

Le procédé KLH®-CLT nervurés présente une isolation thermique « moyenne » évaluée par le coefficient U de transmission surfacique calculable conformément aux règles Th-Bat, en prenant pour conductivité thermique utile du bois $\lambda = 0,13 \text{ W/m.K}$. Cette valeur correspond à un résineux léger de classe mécanique C24 selon la norme NF EN 338 et dont la masse volumique moyenne, c'est-à-dire avec une teneur en humidité de 15 % selon la terminologie de la norme NF B 51-002, est $\leq 500 \text{ kg.m}^{-3}$.

Les panneaux KLH®-CLT nervurés, peuvent nécessiter, selon leur emplacement dans l'ouvrage, la mise en œuvre d'une isolation thermique complémentaire. En toiture, le procédé KLH®-CLT nervurés sans isolation thermique, ne peut être mis en œuvre que sur les bâtiments ouverts et auvents (ouvrages où la réglementation thermique n'est pas applicable).

Au niveau des parois verticales, un pare-vapeur sera systématiquement mis en œuvre sur la face du KLH®-CLT nervurés exposée au climat intérieur (entre le panneau KLH®-CLT nervurés 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.

Isolation acoustique

Les panneaux KLH®-CLT nervurés 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 f_0 . 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, à l'air et à la vapeur d'eau

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

Toutefois, en utilisation en support de couverture ne comprenant pas de membrane pare-vapeur (cf. § 4.1.1 et Fig. B.3d), la paroi CLT doit assurer l'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau de l'ouvrage, pour autant que les jonctions entre panneaux et les différents points singuliers soient traitées particulièrement.

Données environnementales

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

Aspects sanitaires

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

1.2.2.2. Durabilité - Entretien

Compte tenu de la limitation à des usages exposant les panneaux KLH®-CLT nervurés aux classes d'emploi 1 et 2, leur durabilité face aux éléments fongiques peut être normalement assurée soit du fait de la durabilité naturelle de l'essence utilisée, soit par l'application d'un traitement de préservation dans les conditions fixées au § 1.2.3.1.8 des prescriptions techniques.

Le deuxième décret n° 2006-591 d'application de la loi n° 99-471 du 8 juin 1999 tendant à protéger les acquéreurs et propriétaires d'immeubles contre les termites et autres insectes xylophages » - dite loi termites, suivi par l'arrêté du 16 février 2010 modifiant l'arrêté du 27 juin 2006 relatif à l'application des articles R.112-2 et R. 112-4 du code de la construction et de l'habitation, vise la protection des bois et des matériaux à base de bois participant à la solidité des ouvrages et mis en œuvre lors de la construction de bâtiments neufs ou de travaux d'aménagement. Les panneaux KLH®-CLT nervurés répondent à la réglementation en vigueur sous réserve des dispositions complémentaires données aux Prescriptions Techniques (§1.2.3 ci-après).

Utilisation en support d'étanchéité

Concernant l'entretien du complexe d'étanchéité, se reporter à leurs Documents Techniques d'Application, à l'Avis Technique des procédés de végétalisation de toitures ou des dispositions conformes au DTU.

Utilisation en support de couverture

La durabilité du procédé Eléments KLH-CLT Nervurés est assurée si, comme prévu, ces éléments sont réservés à la couverture de locaux à faible ou moyenne hygrométrie et si ces supports sont protégés de l'humidification lors de la pose (cf. § 1.2.5 Prescriptions Techniques dans le cas de l'utilisation en support de couverture).

Le risque de développement fongique semble maîtrisé et normal dans les limites des configurations justifiées au § 4 de par les caractéristiques des panneaux et des autocontrôles de fabrication permettant d'assurer la constance de qualité technique.

Dans les conditions de pose prévues par le § 4, et complétées par les Prescriptions Techniques, la durabilité des couvertures associées est comparable à celle des mêmes couvertures posées sur support traditionnel.

Concernant l'entretien du système de couverture, se reporter aux dispositions du DTU de la série 40 ou au Document Technique d'Application dont relève la couverture.

1.2.2.3. Fabrication et contrôle

La fabrication des panneaux KLH®-CLT nervurés est assurée exclusivement par les sociétés KLH Massivholz GmbH à TEUFENBACH-KATSCH en Autriche et CBCO à PREURES en France. 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 le FCBA. La mise en œuvre des vis de renfort n'est réalisée qu'en usine avec un matériel adapté (visseuse à contrôle de couple avec un couple adapté à la vis utilisée).

1.2.3. Prescriptions Techniques

1.2.3.1. Conditions de conception

La conception et le calcul des panneaux KLH®-CLT Nervurés sont à la charge du bureau d'études techniques qui doit également fournir un plan de pose complet. LIGNATEC 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 KLH®-CLT nervurés en respect des prescriptions techniques particulières du présent Avis et des normes en vigueur.

Les charges d'exploitation à prendre en considération dans les calculs sont celles précisées par la norme NF EN 1991 moyennant les limitations décrites §1.2.1.

Dans le cas de conception de complexe de couverture sans membrane pare-vapeur telle que décrite au § 4.1.3.3 ou au § 4.1.3.4, la consultation de la société KLH Massivholz GmbH ou LIGNATEC pour confirmer sa conformité au présent ATEC est nécessaire.

La reprise des efforts de diaphragme ne peut être réalisée que si la membrure supérieure du panneau de plancher est liaisonnée directement par des équerres à la paroi verticale, hors muralière collée, afin d'éviter les efforts de traction au niveau du joint de collage muralière/CLT.

Dans le cas des murs, la reprise des efforts verticaux est assurée uniquement par les panneaux CLT.

1.2.3.1.1. 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 décrit au §2.8.1.2 et §2.8.1.4 du Dossier Technique, en considérant les combinaisons d'action des Eurocodes et en appliquant les coefficients k_{mod} fonction de la classe de service et de la durée d'application des charges. Les flèches sont alors calculées comme décrit au §2.8.3 du Dossier Technique. Il est tenu compte du fluage par le coefficient k_{def} pris selon l'Annexe 1 de la partie Avis. Les vérifications suivantes :

- Vérifications des contraintes normales et de flexion dans le voile, les nervures et la semelle. La rigidité efficace des panneaux KLH®-CLT nervurés étant calculée selon la méthode de la norme NF EN 1995-1-1 Annexe B ;
- Vérification du cisaillement aux interfaces voile /nervures et nervure/semelle, dans le voile, dans les nervures et dans les semelles (selon §2.8.5.5.2 du Dossier Technique) ;
- La reprise des efforts de flexion transversale entre nervures parallèles doit être justifiée en tenant compte de la seule section des voiles supérieures (la rigidité des chapes peut être prise en compte dans le calcul des rigidités du plancher, néanmoins sans effet composite).

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

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 KLH®-CLT nervurés.

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 dispositions du §1.4.1.5.6 pour les flèches actives s'appliquent.

Une attention particulière doit être portée à la conception des planchers et notamment à l'emplacement respectif des joints entre panneaux et des charges ponctuelles.

Les dispositions du §1.4.1.5.7 pour les cas particuliers des vérifications des flèches de porte-à-faux s'appliquent.

Pour les éléments de toiture, la flèche nette finale due à toute les charges est limitée selon le §1.2.4.1 ci-après.

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

La compression transversale et le cisaillement sur appui doivent faire l'objet d'une vérification selon le §3.3.3 du Cahier du CSTB 3802_P2.

1.2.3.1.3. 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 §2.8.5 du Dossier Technique. Le calcul de la contrainte majorée de compression est effectué suivant la norme NF EN 1995-1-1.

Lorsque les panneaux KLH®-CLT nervurés 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. §2.8.7.2 du Dossier Technique).

De la même façon, les éléments formant linteaux au-dessus des ouvertures doivent faire l'objet d'une vérification spécifique. Il convient de se reporter au §2.8.5.2.1 du Dossier Technique pour la conception des porteurs verticaux avec linteaux et ouvertures.

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

Les vérifications de la résistance sous l'effet des contraintes de cisaillement peuvent être menées comme décrit au §2.8.5.1 du Dossier Technique, en considérant les combinaisons d'action des Eurocodes et en appliquant les coefficients k_{mod} fonction de la classe de service et de la durée d'application des charges. Les flèches sont alors calculées comme décrit au § 2.8.5.6 du Dossier Technique.

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

Lorsque des panneaux KLH®-CLT nervurés 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.

Lorsque des panneaux KLH®-CLT nervurés 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.

1.2.3.1.5. Conception des assemblages et des liaisons

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

Les connecteurs mécaniques tridimensionnels doivent faire l'objet d'une Evaluation Technique Européenne.

Les autres connecteurs mécano-soudés doivent être conformes aux dispositions des NF DTU 31.1, NF DTU 31.2 et sont dimensionnées selon la NF EN 1993 et réalisées selon la NF EN 1090-2.

Les organes de fixation ou d'assemblages doivent être justifiés au regard des prescriptions des sections 7.1 et 8 de la norme NF EN 1995-1-1 et du paragraphe 2.13.1 du Dossier Technique.

Le cisaillement entre panneaux adjacents sous effort tranchant doit être justifié.

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

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

Les organes de fixation traversant des plis croisés doivent faire l'objet d'une Evaluation Technique Européenne visant la fixation dans le bois lamellé croisé (CLT).

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

- D'un marquage CE selon la NF EN 14592, lorsque l'organe ne traverse pas plus de deux plans de cisaillement ;
- D'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 ferrailage suivant le schéma bielle-tirant conformément à la norme NF EN 1992-1-1.

Pour les catégories d'usage C4, C5, D1, D2, E1 :

- La capacité de l'assemblage entre panneaux adjacents vis-à-vis de la charge concentrée de la catégorie d'usage visée devra être justifiée ;
- La distance entre les organes d'assemblage doit être de 30 cm maximum ;
- Le pianotage entre panneaux KLH est limité à la déformation acceptée par les éléments d'équipement supportés.

Lorsque la charge concentrée correspond à une charge long terme au sens de la norme NF EN 1995-1-1/NA, il y a lieu de considérer la concomitance de cette charge avec les efforts de contreventement.

1.2.3.1.6. Perçage et réservations dans les panneaux KLH®-CLT nervurés

Perçage dans les nervures des panneaux KLH®-CLT nervurés

Le perçage et les traversées des nervures des panneaux KLH®-CLT nervurés sont définis au paragraphe 2.9.7 du Dossier Technique.

Réservations et ouvertures dans les panneaux KLH®-CLT nervurés (trémies et ouvertures des éléments de mur)

La réalisation d'ouverture dans les planchers sont autorisés dans les limites décrites dans le §2.9.8 du Dossier Technique.

Dans le cas de trémie importante (avec interruption des nervures), le report des charges des chevêtres sur la nervure adjacente doit être limité après combinaison à 500 daN. Pour des charges supérieures à 500 daN, des vis de frettage renforçant le joint de colle entre le CLT et la nervure sont ajoutées en atelier pour reprendre cette surcharge ponctuelle.

1.2.3.1.7. Utilisation en zone sismique

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

La justification en zone sismique des structures composées de panneaux KLH®-CLT nervuré M doit être menée uniquement en suivant le principe de comportement faiblement dissipatif.

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

Pour les bâtiments non-réguliers en élévation, les justifications doivent être menées avec un coefficient de comportement abaissé de 20 % et en déterminant les effets des actions sur la base d'une analyse modale.

Pour les bâtiments non-réguliers en plan, les effets de la torsion sont à prendre en considération selon les dispositions de la norme NF EN 1998-1.

Les coefficients de modification k_{mod} 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 (vis de liaison, équerres, etc.) au regard des efforts de cisaillement engendrés par l'action sismique.

A ce titre, il convient :

- De hiérarchiser les zones de rupture dans les organes d'assemblage des panneaux en vérifiant la résistance suffisante des panneaux dont la rupture en cisaillement est considérée fragile ;
- D'exploiter la source de ductilité des organes d'assemblage des ancrages et équerres, la justification de la capacité résistante étant menée suivant les principes 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 ne sont pas admis ;
- De s'assurer que les connecteurs tridimensionnels mis en œuvre bénéficient d'un Agrément Technique Européen et fassent l'objet d'un rapport d'essai de laboratoire (accrédité ISO 17025) réalisé selon la norme NF EN 12512 et démontrant d'un comportement cyclique qui satisfasse les critères fixés de la classe de ductilité 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 que le dimensionnement des ancrages de panneaux est réalisé en appliquant les principes du dimensionnement en capacité de la norme NF EN 1998-1 en considérant un coefficient de sur-résistance pour l'ancrage $\gamma_{rd} = 1,3$ pour les murs formés d'un seul panneau continu et $\gamma_{rd} = 1,6$ pour les murs formés de plusieurs panneaux assemblés par des vis.

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

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

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

- L'intégrité de la structure lors d'un séisme ;
- La fonction tirant-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 déterminé par calcul ;
- La fonction diaphragme horizontal avec justification des jonctions entre panneaux adjacents pour les efforts de cisaillement induits.
- Assurer la continuité du chaînage dans la direction transversale aux panneaux par rajout d'un élément reliant les panneaux.
- La couture plancher/mur en périphérie devra notamment être réalisée avec à minima une vis tous les 15 cm. La couture entre plancher et mur doit impérativement être réalisée par l'intermédiaire d'une lisse de chaînage continue assurant la répartition des efforts.

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

- Menant les vérifications précisées aux §2.11 ;
- Réalisant la fixation des panneaux au soubassement béton :
 - Soit par des tiges d'ancrage et/ou bèches, le dimensionnement étant réalisé selon les dispositions de la NF EN 1993-1-8 pour les boulons d'ancrage tendus ;
 - Soit par des chevilles bénéficiant d'une ETE visant une utilisation en béton fissuré et sous sollicitation sismique (catégorie C2), le dimensionnement tenant compte des dispositions spécifiques de l'ETE pour cet usage ; on considère en outre un diagramme d'interaction linéaire pour justifier les chevilles sous charges combinées de traction et de cisaillement.

Les déplacements entre étages en situation sismique devront être conformes à l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié, au §4.4.3.2 de la norme NF EN 1998-1 et au §2.4 du guide ENS.

1.2.3.1.8. Traitement de préservation

En fonction de la classe d'emploi liée à la position du panneau KLH®-CLT nervurés dans l'ouvrage d'une part, et à l'essence utilisée d'autre part, un traitement de préservation du bois peut être nécessaire. Il convient de respecter à cet égard les prescriptions des normes NF EN 335 et NF EN 350.

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

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

1.2.3.1.9. Dispositions constructives générales

Lorsque les panneaux KLH®-CLT nervurés 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.

Lorsque les panneaux KLH®-CLT nervurés sont utilisés pour une ou plusieurs de leurs fonctions, pour la réalisation de bâtiments n'entrant pas dans le domaine d'application du DTU 31.2 (par exemple éléments KLH®-CLT nervurés utilisés pour réaliser les

planchers d'un bâtiment à structure porteuse verticale en béton armé ou en maçonnerie de petits éléments), la réalisation des interfaces doit tenir compte des exigences éventuelles des textes visant les autres éléments porteurs (NF EN 1992-1-1, DTU 20.1, etc.).

Lorsque les panneaux KLH®-CLT nervurés sont posés sur leurs appuis, la profondeur minimale - toutes tolérances épuisées - est de 45 mm.

Dans tous les cas la surface d'appui - toutes tolérances épuisées - doit être justifiée vis-à-vis de la contrainte de compression transversale dans le caisson KLH®-CLT nervurés.

En paroi verticale, une membrane pare-vapeur sera systématiquement mise en œuvre sur la face du panneau KLH®-CLT nervurés exposée au climat intérieur (entre le panneau KLH®-CLT nervurés et l'ouvrage en plaque de plâtre). La valeur de S_d (épaisseur de lame d'air équivalente) du pare-vapeur sera au minimum de 18m lorsque le revêtement extérieur est ventilé et de 90m dans le cas contraire.

En paroi support d'étanchéité (cf. § 3), une membrane pare-vapeur sera systématiquement mise en œuvre sur le tablier supérieur des Eléments KLH®-CLT nervuré.

En paroi support de couverture (cf. § 4), la mise d'une membrane pare-vapeur n'est pas systématique (cf. § 4.1.1 et Figure B.3).

1.2.3.2. Conditions de fabrication

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

Le suivi de la production est effectué :

Dans le cadre d'une procédure interne d'autocontrôle dont les étapes sont indiquées dans le §2.7 du Dossier Technique. Les résultats sont consignés dans des fiches spécifiques pour les planches d'une part et panneaux KLH®-CLT nervurés finis d'autre part indiquant notamment :

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

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

Un contrôle externe est réalisé sur les panneaux KLH®-CLT nervurés par le FCBA et par le Holzforschung permettant de vérifier la conformité des performances du panneau et du bon suivi du CPU.

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

1.2.3.3. Conditions de mise en œuvre

1.2.3.3.1. Sollicitations perpendiculaires au sens porteur du panneau

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

1.2.3.3.2. Manutention et stabilité provisoire

Le protocole de montage devra préciser les modes de manutention et 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.

Les éléments KLH®-CLT nervurés devront être protégés des intempéries lors des phases transitoires.

Les conditions de stockage des panneaux devront respectées les prescriptions du §2.12.4 du Dossier Technique.

1.2.3.3.3. Plans d'exécution

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

1.2.4. Prescriptions techniques dans le cas de l'utilisation en support d'étanchéité de toitures terrasses et toitures inclinées

Moyennant la réalisation d'un PAQ (Plan d'Assurance Qualité) contradictoire entre le lot charpente et le lot étanchéité conformément au paragraphe 8.3 du CPT « Support d'étanchéité bois » (Cahier du CSTB 3814 – Novembre 2019) qui se termine par une fiche de réception du support, les pentes de 1,6% et 1,8% sont admises (hors toitures végétalisées).

1.2.4.1. Flexibilité des éléments utilisés en support d'étanchéité

Les déformations prises par les toitures avec panneaux KLH®-CLT nervurés sont :

- Les flèches sont calculées en tenant compte du fluage au travers du facteur de déformation k_{def} (valeur) défini dans la norme NF EN 1995-1-1 :2005 ;
- Les toitures, exceptées dans le cas de la végétalisation, doivent présenter des pentes sur plan :
 - $\geq 3 \%$, lorsque les panneaux KLH®-CLT nervurés sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges limitées au $1/250^e$ de la portée ;
 - $\geq 1,8 \%$, lorsque les panneaux KLH®-CLT nervurés sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges limitées au $1/400^e$ de la portée,
 - $\geq 1,6\%$, lorsque les panneaux KLH®-CLT nervurés sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges limitées au $1/500^e$ de la portée.
- Les terrasses et toitures végétalisées doivent présenter des pentes $\geq 3 \%$.

1.2.4.2. Résistance au vent des systèmes d'étanchéité

Systèmes d'étanchéité : se reporter aux DTA des revêtements d'étanchéité et Avis Techniques des procédés de terrasses et toitures végétalisées.

1.2.4.3. Attelages de fixation mécanique du système d'étanchéité

Résistance en compression

Lorsque la compression à 10 % de déformation de l'isolant support est inférieure à 100 kPa (norme NF EN 826), il est rappelé que les attelages de fixation mécanique des panneaux isolants supports, et/ou des kits des systèmes souples d'étanchéités fixés mécaniquement, doivent être du type « solide au pas » qui empêche, en service, le désaffleurement de la tête de l'élément de liaison au-dessus de la plaquette.

Résistance à l'arrachement

Pour le calcul des densités de fixations des supports isolants ou des revêtements d'étanchéité fixés mécaniquement, la résistance caractéristique à l'arrachement à prendre en compte est celle de la fixation dans du bois massif conforme à la NF P 30-310 définie dans la fiche technique de la fixation, à épaisseur égale.

1.2.4.4. Conditions de mise en œuvre

La mise en œuvre des systèmes d'étanchéité est faite par les entreprises d'étanchéité qualifiées. A cette condition, la mise en œuvre des systèmes d'étanchéité sur les panneaux KLH®-CLT nervurés ne présente pas de difficulté particulière. En aucun cas, les réservations et/ou percements ne sont réalisés par le lot Étanchéité. Cette interdiction ne concerne pas la pose des attelages de fixation mécanique des systèmes d'étanchéité (supports isolants, kits des systèmes souples d'étanchéités fixés mécaniquement, par exemple).

1.2.4.5. Implantation des zones techniques

Les Documents Particuliers du Marché (DPM) précisent, lorsqu'il y en a en toiture des équipements qui justifient le traitement de la toiture en zone(s) technique(s), l'implantation et la surface de ces zones. La surface unitaire de la zone technique ou de chaque partie constituant chaque zone technique ne sera jamais inférieure à 200 m².

1.2.4.6. Évacuation des eaux pluviales

L'implantation des dispositifs des évacuations des eaux pluviales et, lorsque prescrit, la vérification nécessaire des panneaux KLH®-CLT nervurés sous le phénomène d'accumulation d'eau s'effectuent conformément à l'Annexe D du Cahier du CSTB 3814 de novembre 2019.

1.2.4.7. Terrasses et toitures végétalisées

Dans le cas de terrasses et toitures végétalisées, les charges de Capacité Maximale en Eau (C.M.E.) du système de végétalisation, y compris la charge de sécurité de 15 daN/m², devront être prises en compte. Ces charges sont indiquées dans l'Avis Technique et le procédé de végétalisation. Lorsque la pente est inférieure à 7 % sur plan, il n'est pas nécessaire de prendre en compte la charge complémentaire forfaitaire de 85 daN/m² pour le dimensionnement des panneaux structuraux KLH®-CLT nervurés, puisque le fluage est pris en compte dans leur dimensionnement.

1.2.4.8. Terrasses accessibles aux piétons et au séjour

L'emploi en terrasses accessibles aux piétons et au séjour est prévu au paragraphe 3.3 avec une constitution particulière du système d'étanchéité couche de protection/isolant/bicouche, protégé par des dalles sur plots, en respectant les prescriptions du 3.3.2. Le maître d'ouvrage devra prévoir dans les DPM des descentes d'eau pluviales visibles par l'occupant et permettant ainsi de s'assurer de l'absence de pénétrations d'eau en points bas de la toiture (descente d'eau pluviale spécifique).

1.2.4.9. Implantations des écrans de cantonnement

Les DPM doivent préciser la position des écrans de cantonnement et/ou des bandes de recoupement de l'isolant combustible support d'étanchéité.

1.2.4.10. Cas de la réfection ultérieure du système d'étanchéité

a) Panneaux structuraux KLH®-CLT nervurés : les études préalables prescrites au paragraphe 5 de la norme NF P 84-208 (référence DTU 43.5) doivent comprendre un contrôle de la teneur en humidité des panneaux en bois massifs contrecollés et la vérification de leur salubrité.

Ces études sont à la charge du maître d'ouvrage. Elles ne sont pas de la compétence du lot d'Étanchéité.

b) Systèmes d'étanchéité : l'emploi d'attelages de fixation mécanique pour la liaison des panneaux isolants, et/ou celle des kits des systèmes souples d'étanchéités fixés mécaniquement, doit être précédé d'une vérification systématique des valeurs d'ancrage des fixations envisagées, conformément au CPT Commun de l'e-Cahier du CSTB 3564 de juin 2006.

Il est rappelé qu'il appartient au maître d'ouvrage ou à son représentant de faire vérifier au préalable la stabilité de l'ouvrage dans les conditions de la norme NF P 84-208 (référence DTU 43.5) vis à vis des risques d'accumulation d'eau.

1.2.4.11. Classement FIT

Se référer au Document Technique d'Application particulier des revêtements d'étanchéité.

1.2.5. Prescriptions techniques dans le cas de l'utilisation en support de couverture

1.2.5.1. Conditions de conception et de calcul

1.2.5.1.1. Utilisation en zone sismique

Pour les couvertures en plaques support de tuiles, en tuiles métalliques et en plaques bitumineuses, la limitation d'utilisation en zone sismique est donnée dans le § 4. Pour les couvertures traditionnelles (petits éléments de couverture, plaques profilées en fibres-ciment, tôles métalliques nervurées, feuilles et longues feuilles métalliques et bardeaux bitumés), la limitation d'utilisation en zone sismique devra être déterminée selon les référentiels techniques appropriés.

1.2.5.1.2. Conditions de conception

La conception et le calcul des Eléments KLH®-CLT nervurés utilisés en support de couverture doivent être vérifiés suivant les prescriptions du Dossier Technique. Le dimensionnement doit être réalisé en classe de service 2 pour les bâtiments ouverts. Le maître d'œuvre doit définir les cas de charges à prendre en compte en couverture : Les principes de couvertures peuvent conduire à des cas de charges particuliers linéaires et/ou ponctuels pouvant impacter le dimensionnement.

1.2.5.2. Conditions de mise en œuvre

La mise en œuvre de ce support relève de la compétence d'entreprises qualifiées, notamment des entreprises de charpente qualifiées. Elle ne présente pas de difficulté particulière. Elle nécessite le recours à des moyens de levage appropriés. La commande à dimensions, après étude de calepinage, peut faciliter la pose.

1.2.5.2.1. Mise hors d'eau

La mise hors d'eau des panneaux devra être immédiate. Dans les conditions normales du chantier, la couverture sera exécutée à l'avancement. Si tel n'est pas le cas, un ouvrage de protection selon le § 2.9.4.1 est à mettre en œuvre par l'entreprise ayant posé ces supports.

1.2.5.2.2. Ventilation des couvertures en toiture froide

Les Eléments KLH®-CLT nervurés revêtus de couvertures ventilées en sous face, nécessitent un contre-litonnage supplémentaire sur chantier afin de respecter les espaces de ventilation prévus par les DTU ou ATEC/DTA relatifs à ces couvertures.

1.2.5.2.3. Butée en bas de pente pour retenir l'isolant

Pour les pentes de couverture supérieures à 100%, il convient de réaliser un dispositif de butée en bas de pente. Le recours à l'assistance technique du titulaire peut être requis à cet égard.

1.2.5.2.4. Ouvrage pare-vapeur

La mise en place d'un ouvrage pare-vapeur est nécessaire dans les cas suivants :

- Lorsque le DTA du procédé de sarking, de couverture ou d'isolation de combles le prévoit, excepté dans le cas du procédé ROCKIEL posé sur Eléments KLH-CLT nervuré T inversé avec panneaux de fermeture en SWISS KRONO OSB3 (cf. Fig. B.3d);
- Lorsque qu'un écran de sous-toiture certifié QB25 et classé Sd1 (HPV) est utilisé ;
- Lorsque prescrit par les Documents et Pièces du Marché (DPM) ;
- Lorsque que le DTU d'un des éléments constitutifs de la paroi complète de couverture l'exige ;
- En climat de montagne.

1.2.5.2.5. Complexité de couverture

Sous réserve du respect des dispositions de mise en œuvre prévues par le § 4 et du recours éventuel à l'assistance technique du fabricant, la réalisation de couvertures de forme complexe (rives biaisées, noues, arêtiers) peut être considérée favorablement.

1.2.5.2.6. Finitions en plafond

L'aspect régulier du plafond est tributaire du nivellement des appuis supports et du soin apporté à la pose des panneaux.

1.2.5.2.7. Étanchéité à la neige poudreuse

Lorsque l'étanchéité à la neige poudreuse est recherchée, il y a lieu de recourir à l'emploi d'un écran souple de sous-toiture certifié QB 25, et mis en œuvre conformément aux dispositions du NF DTU 40.29.

Appréciation globale

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

1.3. Remarques complémentaires des Groupes Spécialisés

Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé 3.3

Les caractéristiques des planchers CLT du présent Avis Technique répondent aux caractéristiques des planchers bois spécifiées :

- Dans le DTU 51.3 pour la pose directe des revêtements de sol ;
- Dans les Recommandations Professionnelles RAGE « Chapes et dalles sur planchers bois – neuf » pour la mise en œuvre des chapes relevant du DTU 26.2 ;
- Dans le DTU 51.3 pour la mise en œuvre des chapes relevant des Avis Techniques visant le support bois.

En l'absence de précision dans le Dossier Technique, il appartient au MOE en accord du détenteur de l'Avis Technique de prévoir une conception adaptée dans les locaux « humides » c'est-à-dire les Salles de Bain accessibles aux PMR.

La nature du revêtement extérieur (cf. les référentiels techniques DTU, DTA, Règles Professionnelles- dont ils relèvent) et le mode d'intégration des fenêtres et portes extérieures dans les parois verticales peuvent limiter les hauteurs admissibles des bâtiments réalisés avec le procédé.

Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé 5.2

La solution de mise en œuvre de l'étanchéité directement sur le tablier supérieur du caisson isolé, soit entre nervures, soit en sous-face n'est ni prévue ni admise.

Dans le cas d'un complément d'isolation par l'intérieur, il y a lieu de vérifier les règles d'isolation définies au § 7.3 du cahier du CSTB 3814, règle dite des 1/3-2/3 en climat de plaine hors zone très froide, sans isolation complémentaire entre nervures ou en sous-face du caisson par panneaux de fibres de bois, et règle dite des 1/4-3/4 en climat de plaine avec isolation en panneaux en fibres de bois, en zone très froide et en climat de montagne.

L'implantation des dispositifs des évacuations des eaux pluviales et, lorsque prescrit, la vérification nécessaire des panneaux KLH®-CLT nervurés sous le phénomène d'accumulation d'eau s'effectuent conformément à l'Annexe D du Cahier du CSTB 3814 de novembre 2019.

Seuls les panneaux nervurés de type T sont utilisables en toiture froide.

Dans le cas de terrasses accessibles aux piétons, la conception de l'ouvrage devra prévoir des descentes d'eaux pluviales visibles par les occupants des locaux des locaux (cf. Figure 12.2 du Cahier du CSTB 3814).

La diminution du critère de fléchissement final $w_{net,fin}$ dû à toutes les charges du 1/250^e de la portée pour une pente de 3 % minimale, au 1/400^e de la portée pour une pente de 1,8 % minimale, a pour conséquence d'augmenter le coefficient de sécurité vis-à-vis de la rupture d'environ 30 % et d'environ 50 % lorsque l'on passe au 1/500^e de la portée pour une pente de 1,6 % minimale.

La protection contre les intempéries en phase travaux est définie dans l'Annexe § 2.9 du Dossier Technique.

Il incombe aux Maître d'œuvre de définir le responsable de la mesure de siccité des panneaux CLT en œuvre, avant application du procédé d'étanchéité de toiture.

Comme pour tous les procédés à base de bois, la fixation des lignes de vie est réalisée dans la charpente.

Les garde-corps fixes doivent être intégrées dès la conception de l'ouvrage et être ancrés à sa structure.

Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé 5.1

Dans les configurations sans membrane pare-vapeur (panneaux KLH-CLT faisant office de pare-vapeur) prévues au § 4.1.1 du DT, et uniquement avec isolation complémentaire au-dessus du panneau KLH Nervuré en T inversé, le panneau de fermeture sera uniquement un panneau SWISS KRONO OSB3, disposant d'une certification individuelle du FCBA, et plus particulièrement une valeur S_d certifiée. Si cette valeur S_d n'est plus certifiée par le FCBA, ce qui est à vérifier par le concepteur de la paroi, alors la technique décrite au § 4.1.3.4 n'est plus admissible.

Dans les configurations sans membrane pare-vapeur (panneaux KLH faisant office de pare-vapeur) prévues au § 4.1.1 du DT, la présence d'un écran de sous-toiture S_{d1} sans membrane pare-vapeur en sous face est une dérogation au DTU 40.29, mais a été justifiée par étude hygrothermique (cf. § 2.14). Cette solution n'est admissible que tant que les contrôles internes de fabrication concernant l'épaisseur du joint de collage et les épaisseurs des lamelles mentionnés au § 2.7.2 sont respectés.

Les panneaux KLH®-CLT ne remplissent pas la fonction d'écran de sous-toiture dont la présence ou non est stipulée dans les Avis Techniques, Documents Techniques d'Application ou DTU des couvertures associées aux panneaux.

La longueur projetée du rampant de couverture doit rester inférieure à la longueur projetée admise dans les DTU de la série 40.

Les intégrations électriques et la fixation d'objet n'ont pas fait l'objet d'une évaluation dans le cadre du présent Avis Technique.

Dans le cas d'une isolation SARKING, relevant de la procédure de DTA, l'épaisseur minimale du tablier supérieur ou des nervures est 80 mm.

Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé 20

Les isolants visés, selon les différentes configurations, sont décrits :

- Pour l'utilisation en support d'étanchéité de toitures terrasses et toitures inclinées : aux § 3.1.1, 3.2.3, 3.3.3 et 3.5.
- Pour l'utilisation en support de couverture : au § 4.1.3 et tableaux B1 à B4.

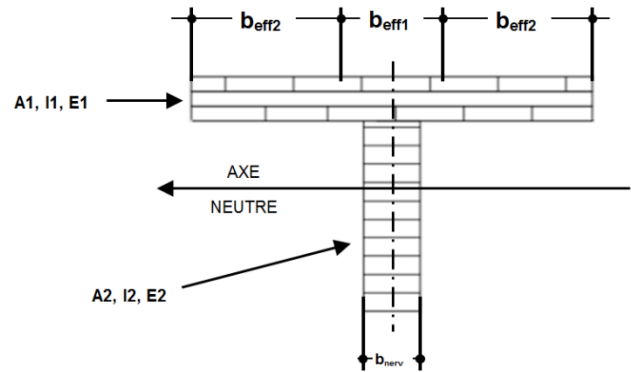
1.4. Annexes de l'Avis du Groupe Spécialisé

1.4.1. Dimensionnement des planchers

1.4.1.1. Données

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

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



Section partielle d'un panneau KLH®-CLT nervurés

Moment de flexion de calcul maximum	M_d
Effort tranchant maximum de dimensionnement	V_d

1.4.1.2. Conception

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

Il ne sera pas tenu compte de la répartition transversale des charges. Chaque élément de plancher sera dimensionné pour résister aux charges qui lui sont directement appliquées.

Lorsque les panneaux KLH®-CLT nervurés, utilisés comme planchers porteurs, sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant trémie doivent faire l'objet d'une vérification spécifique (cf. §2.10.8 du dossier technique). Le dimensionnement est réalisé en appliquant les coefficients k_{mod} fonction de la classe de service et de la durée d'application des charges. Les flèches sont calculées en tenant compte du fluage par le coefficient k_{def} pris selon les valeurs définies dans le tableau 5 au §2.9.1 du Dossier Technique.

1.4.1.3. Vérification à l'ELU instantanée

Il convient que la largeur efficace des sections partielles soit déterminée selon :

$$b_i = \sum_{y=1}^n b_{effi}$$

Où b_i : largeur unitaire de chaque section partielle composant le panneau nervuré (mm).

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

Avec :

- A_i L'aire de la section transversale
- E_i le module moyen du matériau
- $I_i = \frac{b_i h_i^3}{12}$
- $a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2$
- $a_2 = \frac{E_1 A_1 \times (h_1 + h_2)}{2 \times \sum_{i=1}^2 E_i A_i}$

Les contraintes normales sont prises selon :

$$\sigma_{t,0,d}^i = \frac{E_i a_i M_d}{(EI)_{ef}}$$

$$\sigma_{m,0,d}^i = \frac{0,5 \times E_i h_i M_d}{(EI)_{ef}}$$

Vérification de la traction et flexion combinées des couches de bois :

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

Vérification du cisaillement :

$$\tau_{2,max} = \frac{0,5E_2b_2h_2^2}{k_{CR,i}b_2(EI)_{ef}} V_d \leq f_{v,d,2}$$

Avec $f_{v,d,2}$ la résistance en cisaillement de l'élément 2 (nervure).

La résistance au cisaillement du CLT est vérifiée suivant la formule :

$$\tau_1 = \frac{E_1m_{s,1}}{k_{CR,i}b_1(EI)_{eff}} V_d \leq f_{v,d,1}$$

Avec :

- E_1 le module d'élasticité de l'élément 1 (CLT) ;
- $m_{s,1}$ le moment statique de l'élément 1 (CLT) ;
- b_1 la largeur de l'élément 1 (Largeur efficace du CLT) ;
- $f_{v,d,1}$ la résistance en cisaillement de l'élément 1 (CLT).

La résistance en cisaillement du joint de colle est également vérifiée :

- Au niveau de l'élément 2 (nervure en bois lamellé-collé) :

$$\tau_{colle,2-1} = \frac{E_1A_1\left(\frac{h_2}{2} - a_2\right)}{b_2(EI)_{ef}} V_d \leq \min\left(f_{v,d,1}, f_{v,d,2}, \frac{k_{mod} \times 2,5 \text{ MPa}}{\gamma_M}\right)$$

- Au niveau de l'élément 1 (panneau de CLT) :

$$\tau_{colle,1-2} = \frac{E_1A_1\left(\frac{h_2}{2} - a_2\right)}{(b_2 + e)(EI)_{ef}} V_d \leq \frac{f_{R,v,d,1}b_2G_{R,1,mean} + f_{v,d,1}e_1G_{1,mean}}{b_2G_{R,1,mean} + e_1G_{1,mean}}$$

Avec :

- e l'épaisseur du pli du CLT en contact avec le joint de colle ;
- $f_{R,v,d,1}$ la résistance en cisaillement roulant des lamelles constituant le CLT.

1.4.1.4. Vérification à l'ELU final

Les caractéristiques élastiques prises en compte sont réduites pour pouvoir considérer le fluage. La réduction est obtenue par la prise en compte des coefficients de fluage. Pour une combinaison d'actions pour laquelle chaque action appartient à une classe de durée de chargement différente, la contribution de chaque action doit être calculée séparément en utilisant le coefficient ψ_2k_{def} approprié, puis additionnées pour les vérifications.

$$E_{0,mean,fin} = \frac{E_{0,mean}}{1 + \psi_2k_{def}}$$

$$G_{mean,fin} = \frac{G_{mean}}{1 + \psi_2k_{def}}$$

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

1.4.1.5. Vérification ELS

1.4.1.5.1. Caractéristique mécanique instantanée

Il convient de considérer la rigidité efficace en flexion déterminée au §1.4.1.3 de cette présente annexe.

1.4.1.5.2. Caractéristique mécanique finale

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

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

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

Avec G_{mean} le module de cisaillement moyen des éléments constituant les panneaux KLH®-CLT nervurés.

1.4.1.5.3. Coefficient de fluage : kdef

La flèche due au fluage est calculée en appliquant à la part des charges de longue durée le coefficient k_{def} adéquat de l'Eurocode 5. Le coefficient k_{def} à prendre en compte pour le fluage est celui défini dans le tableau 5 au §2.9.1 du Dossier Technique.

1.4.1.5.4. 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 de l'élément et d'autre part la flèche générée par l'effort tranchant en considérant le module de cisaillement du caisson KLH®-CLT nervurés.

1.4.1.5.5. Vérifications flèche totale – absolue

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

1.4.1.5.6. Vérifications flèche instantanée

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

1.4.1.5.7. Vérifications flèche active

Les valeurs limites de flèche fournies par la norme NF EN 1995-1-1 et son Annexe Nationale sont à respecter. Cependant, une attention toute particulière doit être apportée aux grandes déformations. Elles doivent être déterminées de manière constructive, pour ne pas nuire ainsi aux revêtements de sols rigides et à l'aspect visuel de la sous-face, notamment dans le cas d'une sous-face ajourée.

Les critères de flèche doivent être vérifiés en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux KLH®-CLT nervurés.

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.

Le "fléchissement actif" des planchers pouvant nuire à l'intégrité des cloisons maçonnées ou aux revêtements de sol fragiles comporte :

- Les déformations différées sous l'action du poids propre du plancher ;
- Les déformations totales dues aux charges permanentes mises en œuvre après les éléments fragiles ;
- Les déformations différées sous l'action de toutes les charges permanentes ;
- Les déformations totales dues à la part quasi permanente des charges d'exploitation.

En l'absence de revêtement de sol fragile et de cloisons fragiles, la flèche active est limitée par la norme, ou en l'absence d'autres précisions, aux valeurs suivantes :

- $L/350$ pour $L \leq 7,00$ m ;
- $1 \text{ cm} + L/700$ pour $L > 7,00$ m.

En présence de revêtement de sol fragile ou de cloisons fragiles, les prescriptions portant sur la limitation des flèches nuisibles du FD P18 717 sont adoptées, soit :

- $L/500$ pour $L \leq 5,00$ m ;
- $0,5 \text{ cm} + L/1000$ pour $L > 5,00$ m.

Les critères de flèche active doivent être vérifiés en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux KLH®-CLT nervurés.

1.4.1.6. Dimensionnement des éléments porteurs horizontaux sous charges horizontales

Dans les bâtiments comportant des planchers en panneaux KLH®-CLT nervurés, les diaphragmes de plancher se composent de plusieurs panneaux connectés entre eux sur toute leur longueur. Les efforts de cisaillement dus aux charges horizontales que sont le vent et le séisme sont transmis par les organes d'assemblages.

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

Par ailleurs, l'effort horizontal F induit une flexion du diaphragme qui tend à solliciter en traction les joints entre les panneaux. Ces efforts de traction sont repris conjointement par :

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

Dans le cas de planchers reposants sur des murs composés de plusieurs panneaux, il est nécessaire de recréer un chaînage en tête de mur.

1.4.1.7. Cas particulier des vérifications des flèches de porte-à-faux

La longueur des porte-à-faux sera limitée à 50% de la longueur de la travée adjacente d'équilibre. La flèche au droit des porte-à-faux est limitée à $2.L/K$ lorsque celle de la portée courante est limitée à L/K (où K est par exemple 500 pour la flèche active des planchers supports de revêtements de sols rigides), sans pour autant que la limite qui en résulte soit inférieure à 5 mm ou excède les limites de déformation (flèche ou déplacement) prévues par certains NF DTUs.

Lors de la vérification il convient de prendre en considération :

- L'effet de la répartition variable des charges sur les différentes travées ;
- La compatibilité des déformations des ouvrages supportés (éléments de façade par exemple) ;
- Le comportement vibratoire du porte-à-faux.

1.4.2. Dimensionnement des murs

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

La résistance des éléments porteurs verticaux soumis à des charges verticales dans leur plan doit être justifiée vis-à-vis du risque de flambement hors plan. Le calcul de l'élançement des éléments porteurs du panneau KLH®-CLT nervurés est effectué en considérant la longueur de flambement calculée de manière usuelle en fonction des conditions d'appuis (considérées comme des articulations). Le calcul de la contrainte majorée de compression est effectué suivant la norme NF EN 1995-1-1.

Lorsque les panneaux KLH®-CLT nervurés 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. §2.11.2 du Dossier Technique).

De la même façon, les éléments formant linteaux au-dessus des ouvertures doivent faire l'objet d'une vérification spécifique. Il convient de se reporter au §2.11.4 du Dossier Technique pour la conception des porteurs verticaux avec linteaux et ouvertures.

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

Lorsque des panneaux KLH®-CLT nervurés sont utilisés pour assurer le contreventement, il est possible :

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

S'il n'y a pas de linteau et lorsque des panneaux KLH®-CLT nervurés 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 :

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

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

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

Avec :

- b la largeur du panneau (mm)
- t l'épaisseur du panneau (mm)
- V_d effort tranchant agissant sur le panneau (N)
- t_{min} somme des épaisseurs des plis transversaux ou des plis longitudinaux, la plus petite des deux valeurs étant à retenir (mm)
- a largeur d'une planche (mm)
- I_p moment d'inertie polaire des sections croisées (mm⁴)
- h hauteur du panneau perpendiculaire à l'effort agissant horizontal (mm)

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

2. Dossier Technique

Issu du dossier établi par le titulaire

2.1. Données commerciales

2.1.1. Coordonnées

Titulaire : Société KLH – MASSIVHOLZ GmbH
 Katsch an Der Mur 202
 A-8842 TEUFENBACH-KATSCH
 Tél. : +43.(0)35.88/88.35.00
 Internet : www.klh.at

2.2. Description

Les éléments KLH®-CLT nervurés sont des éléments de structure bois de grandes dimensions qui se composent de panneaux contrecollés KLH®-CLT formant le tablier de compression et de poutres en bois jouant le rôle de nervures. Le procédé consiste à augmenter l'inertie du panneau KLH®-CLT grâce à l'ajout des nervures permettant de rigidifier le panneau.

Les nervures sont soit en bois lamellé collé ou bois massif reconstitué conforme à la norme NF EN 14080, soit en bois massif conforme à la norme NF EN 14081. Ces composants (panneaux KLH®-CLT et nervures) sont collés entre eux structurellement à l'aide d'un adhésif polyuréthane ou résorcine.

On distingue deux typologies d'éléments :

- Panneau KLH®-CLT type L ou Q avec nervures rapportée (fig.1, 2 et 4) ;
- Caisson : Panneau KLH®-CLT type L + nervures + Panneau KLH®-CLT type L (fig.3) ;
- Murs KLH®-CLT type Q nervuré M (fig.4).

Les dimensions maximales des éléments KLH®-CLT nervurés sont : 16,5 m de long, par 2,95 m de large et sur demande jusqu'à 3,50 m.

L'entraxe et le nombre des nervures sont adaptés suivant les contraintes statiques et architecturales et selon le procédé d'enveloppe (bardage, couverture). Des exemples de répartition de nervures sont présentés à la figure 28 du §2.16 Dossier Technique.

Les éléments KLH®-CLT nervurés peuvent contenir de l'isolation thermique et acoustique entre les nervures ou sur le tablier supérieur. Un habillage résistant au feu ou non peut être mis en place sur ou sous les éléments KLH®-CLT nervurés.

Les éléments KLH®-CLT nervurés peuvent être mis en œuvre à la fois en murs porteurs ou en murs non porteurs.

2.3. Domaine d'emploi

Le domaine d'emploi accepté par le Groupe Spécialisé n°3.3, à savoir les utilisations dans les bâtiments industriels, bâtiments d'habitation de la 1^{ère} à la 4^{ème} famille, de bureaux ou Etablissements Recevant du Public, en réhabilitation ou en construction neuve, dans les conditions énoncées aux paragraphes ci-après. Ils peuvent être utilisés pour la réalisation de travaux de surélévation sous réserve que la structure existante puisse reprendre les charges induites par cette surélévation.

Les limitations du domaine d'emploi résultent du respect de la réglementation en vigueur applicable aux bâtiments, notamment vis-à-vis du Règlement de Sécurité pour la Construction ainsi que du domaine d'emploi des panneaux KLH®-CLT conformément au Document Technique d'Application 3.3/20-1016_V1 qui le constitue.

Le procédé KLH®-CLT nervurés est destiné à la réalisation d'ouvrages de structure en classe de service 1 et 2 au sens de la norme NF EN 1995-1-1 et en classe d'emploi 1 et 2 au sens de la norme NF EN 335.

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

Le procédé KLH®-CLT nervurés n'est pas formulés pour les utilisations dans les DROM.

Les panneaux KLH nervurés peuvent être utilisés en murs porteurs ou non, en planchers, en éléments porteurs et support d'étanchéité en toitures-terrasses et en support de couverture.

Les éléments KLH®-CLT nervurés peuvent être mis en œuvre à la fois en murs porteurs ou en murs non porteurs.

Les éléments KLH®-CLT nervurés peuvent contenir de l'isolation acoustique et/ou thermique entre les nervures ou sur le tablier supérieur (cf. § 3 et 4). Un habillage résistant au feu ou non peut être mis en place sur ou sous les éléments KLH®-CLT nervurés.

Les panneaux structuraux KLH®-CLT nervurés sont utilisés :

- Comme élément porteur et support d'étanchéité en toitures-terrasses (cf. § 3).
- Comme support de couverture (cf. § 4).

Le présent Avis Technique ne vise pas les cas suivants :

- Les cloisons lourdes (masse > 250 kg/ml) parallèles au sens de portée des panneaux KLH®-CLT nervurés ;
- Les panneaux KLH®-CLT nervurés adjacents et liés, dont le rapport des portées n'est pas compris entre 0,9 et 1,10 et, d'une manière générale toute situation pouvant conduire à des cisaillements verticaux importants à la liaison entre deux panneaux

successifs. Des rapports de portées différents peuvent être admis à la condition de réaliser une étude définissant le liaisonnement entre les éléments permettant de reprendre le cisaillement différentiel entre panneaux ;

- Les utilisations sous charges pouvant entraîner des chocs ou des phénomènes de fatigue n'ont pas été examinées dans le cadre du présent Avis ;
- Le procédé KLH®-CLT nervurés n'est valable que si la température n'excède pas 50°C en service continu au niveau du plan de collage (pour la situation d'incendie se reporter au §1.2.2.1) ;
- L'utilisation des planchers béton sur des murs KLH®-CLT nervurés ;
- L'utilisation des murs KLH®-CLT nervurés en poutre-voile ;
- Les éléments KLH®-CLT nervurés caisson H en tant que murs verticaux.

Les contreflèches de fabrication ne sont pas autorisées.

Le domaine d'emploi proposé est limité aux locaux à faible ou moyenne hygrométrie, à l'exclusion des locaux à forte et très forte hygrométrie, c'est à dire ceux pour lesquels $W/n > 5g/m^3$, avec :

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

Les procédés KLH®-CLT nervurés traités par des produits d'ignifugation ne sont pas visés par le présent Avis.

L'aptitude au levage des éléments KLH®-CLT nervurés n'est pas visée par le présent Avis.

Les ouvrages enterrés en KLH®-CLT nervurés sont exclus du domaine d'emploi.

Les éléments porteurs horizontaux compatibles avec les murs porteurs réalisés avec des éléments KLH®-CLT nervurés sont les suivants :

- Les planchers (ou toitures) réalisés avec les éléments KLH®-CLT nervurés ;
- Les planchers mixtes bois-béton sous Avis Technique ;
- Les structures bois conformes aux NF DTU 31.1, NF DTU 31.2, NF DTU 31.3 ;
- Toute structure à éléments porteurs en bois ou à base de bois calculée selon la NF EN 1995-1-1 y compris incluant des porteurs métalliques calculés selon l'Eurocode 3 ;
- Plancher haut de sous-sol en béton.

Les éléments porteurs verticaux compatibles avec les planchers réalisés avec des éléments KLH®-CLT nervurés sont les suivants :

- Les murs réalisés avec des éléments KLH®-CLT nervurés ;
- Les murs en béton conformes au NF DTU 21, NF DTU 23.1 ;
- Les murs en maçonnerie de petits éléments conformes au NF DTU 20.1 ;
- Les structures bois conformes aux NF DTU 31.1, NF DTU 31.2 ;
- Toute structure à éléments porteurs en bois ou à base de bois calculée selon la NF EN 1995-1-1 y compris incluant des porteurs métalliques calculés selon l'Eurocode 3.

Précisions du domaine d'emploi accepté dans le cas de l'utilisation en mur et planchers

Pour la réalisation des planchers, le procédé est limité à la reprise de charges à caractère statique ou quasi-statique pour des catégories d'usage A, B, C1, C2, C3, D1, E1, H, I au sens de la norme NF EN 1991-1-1. Les chariots élévateurs ne sont pas visés par l'Avis Technique.

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.

L'utilisation en tant que plancher intermédiaire sur volume non-chauffé ou sur vide sanitaire n'est pas visé par le présent Avis Technique.

Précisions du domaine d'emploi accepté dans le cas de l'utilisation en support d'étanchéité de toitures-terrasses et toitures inclinées

Les panneaux structuraux KLH®-CLT nervurés sont utilisés (cf. §3) en travaux neufs :

- Sur tous types de construction.
- En France européenne en climat de plaine et de montagne, hors DROM.
- En toitures :
 - Inaccessibles, avec chemins de circulation éventuels, sans terrasses à rétention temporaire des eaux pluviales,
 - Inaccessibles avec procédés d'étanchéité photovoltaïques avec modules souples bénéficiant d'un Avis Technique,
 - A zones techniques, sans chemins de roulement des appareils d'entretien de façades,
 - Végétalisées de pente minimum 3 %,
 - Accessibles aux piétons et au séjour avec une protection par dalles sur plots ou par platelage bois selon le §3.3.

Les toitures-terrasses à rétention temporaire des eaux pluviales ne sont pas revendiquées.

- Sous des systèmes d'étanchéité :
 - En toitures froides uniquement sur bâtiments non isolés ouverts et ventilés par l'air extérieur (seuls les éléments KLH®-CLT Nervuré ouvert - KLH®-CLT Nervuré T - sont envisagés, cf. §3.2.6) ou en toitures chaudes,
 - Avec un revêtement d'étanchéité indépendant, semi-indépendant ou adhérent,
 - En apparent (hors toitures froides) ou sous protection lourde,
 - En asphalte ou mixte sous asphalte bénéficiant d'un Avis Technique, en feuilles bitumineuses ou en membrane synthétique bénéficiant d'un Document Technique d'Application.

Le procédé « Eléments KLH®-CLT nervurés » vise également les toitures-terrasses inversées (hors toitures accessibles aux piétons), lorsqu'il est associé à un panneau isolant de polystyrène extrudé bénéficiant d'un Document Technique d'Application. Les pentes sur plan des toitures inaccessibles, techniques et accessibles aux piétons sont dépendantes du critère de dimensionnement choisi :

- $\geq 3 \%$, lorsque les éléments KLH®-CLT nervurés sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges, limité au $1/250e$ de la portée,
- $\geq 1,8 \%$, lorsque les éléments KLH®-CLT nervurés sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges, limité au $1/400e$ de la portée,
- $\geq 1,6 \%$, lorsque les éléments KLH®-CLT nervurés sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges, limité au $1/500e$ de la portée,
- $\geq 3 \%$ pour les terrasses et toitures végétalisées.

Sont également visés les toitures-terrasses (hors toitures végétalisées), avec élément porteur à pente nulle, avec une isolation support d'étanchéité en Foamglas Tapered collé en plein à l'EAC, en France métropolitaine (hors DOM) en climat de plaine, selon les dispositions définies au §3.4.

Précision du domaine d'emploi accepté dans le cas de l'utilisation en support de couverture

Les éléments KLH®-CLT nervurés sont utilisés selon le § 4 du Dossier Technique, comme éléments porteur support de couverture plane, en France métropolitaine (hors DOM), y compris en zones sismiques, en construction neuve ou en rénovation.

Ils peuvent être utilisés en climat de plaine et de montagne (Altitude > 900 m), au-dessus de locaux à hygrométrie faible et moyenne c'est-à-dire pour lesquels le rapport $W/n \leq 5$ g/m³, où W est la quantité de vapeur produite à l'intérieur du local par heure en g/m³ et n le taux de renouvellement de l'air.

Ils sont mis en œuvre sur des structures porteuses en béton ou maçonneries, métalliques ou en bois suivant les préconisations du Dossier Technique.

Ils sont support d'isolation mise en œuvre entre chevrons ou en continu. Dans ce deuxième cas, on se référera aux prescriptions des Avis Techniques ou Documents Techniques d'Application relatifs aux procédés « Sarking ».

2.4. Éléments et matériaux

2.4.1. Panneaux bois massifs contrecollés CLT

Les panneaux CLT type L ou Q utilisés sont de la marque KLH®-CLT en accord avec l'Evaluation Technique Européenne ETA-06/0138 et le DTA n° 3.3/20-1016_V1 du procédé « panneaux KLH®-CLT ».

2.4.2. Nervures

Les nervures sont soit en bois lamellé collé, soit en bois massif reconstitué conforme à la norme NF EN 14080 :2013. Elles peuvent être également en bois massif conformément à la norme NF EN 14081 :2016 ou en bois massifs abouté conformément à la norme NF EN 15497 : 2014.

2.4.3. Muralières

Les muralières sont en bois lamellé collé conforme à la norme NF EN 14080 :2013.

2.4.4. Colles

La colle utilisée pour l'assemblage des nervures au panneau KLH®-CLT est une colle polyuréthane mono composante de la marque Purbond, fabriquée par la société HENKEL et une colle résorcine bi-composante de la marque Dynea Prefere.

Sur le site de production français, le collage est réalisé sous presse avec une colle polyuréthane.

Sur le site de production Autrichien, le serrage est assuré par l'intermédiaire de vis dédiées, une colle résorcine bi-composante de la marque Dynea Prefere est utilisée que ce soit pour les panneaux nervurés et les muralières (KLH®-CLT Nervuré M).

Les colles utilisées sont conformes aux normes NF EN 15425, NF EN 301, NF EN 302. Elles sont classées de type 1 suivant ces normes et permettent un usage structural en classe de service 1,2 et 3.

2.5. Description des éléments KLH®-CLT nervurés

Les profils des éléments KLH®-CLT nervurés sont :

- Élément KLH®-CLT nervuré ouvert (KLH®-CLT Nervuré T) – figure 1 : constitué de nervures en bois lamellé collé et d'un tablier supérieur en panneau KLH®-CLT type L.
- Élément KLH®-CLT nervuré ouvert inversé (KLH®-CLT Nervuré T inversé) – figure 2 : constitué d'un panneau de fermeture éventuel à base de bois conforme au NF DTU 51.3 pour les planchers et conformément au DTU 43.4 pour les supports de toiture et de couverture, de nervures en bois lamellé collé et d'un tablier inférieur en panneau KLH®-CLT type L. Dans les configurations de parois de couverture sans membrane pare-vapeur (cf. § 4.1.1 et Fig. B. 3d), les Eléments KLH®-CLT nervuré ouvert inversé sont fermés par des panneaux SWISS KRONO OSB3, certifiés individuellement par le FCBA (Certificats n°527 d'épaisseur maximale 22 mm).
- Élément KLH®-CLT nervuré caisson (KLH®-CLT caisson H) – figure 3 : constitué de nervures en bois lamellé collé et d'un tablier supérieur et inférieur en panneau KLH®-CLT type L.
- Élément KLH®-CLT nervuré avec muralière (KLH®-CLT Nervuré M) – figure 4 : constitué d'une nervure collée à plat utilisée en tant que muralière ou linoir sur un panneau de mur KLH®-CLT type Q.

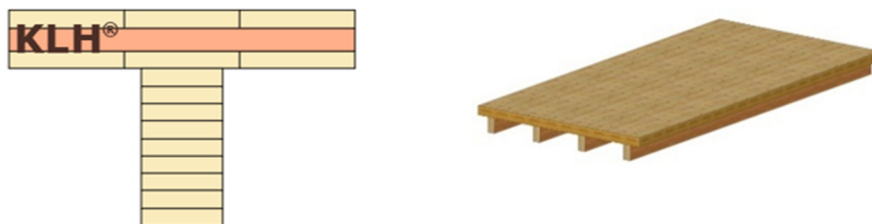


Figure 1 - Élément KLH®-CLT nervuré T

Les éléments KLH®-CLT nervuré T sont utilisés en tant que planchers et murs.

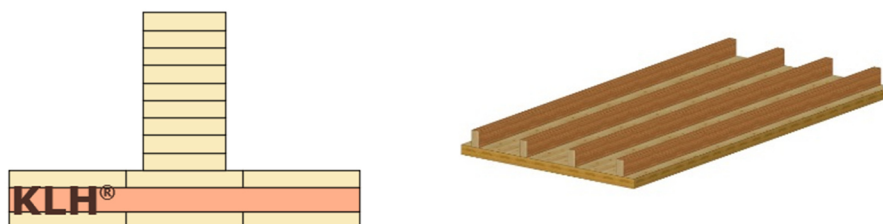


Figure 2 - Élément KLH®-CLT nervuré T inversé

Les éléments KLH®-CLT nervuré T inversé sont utilisés en tant que planchers et murs.

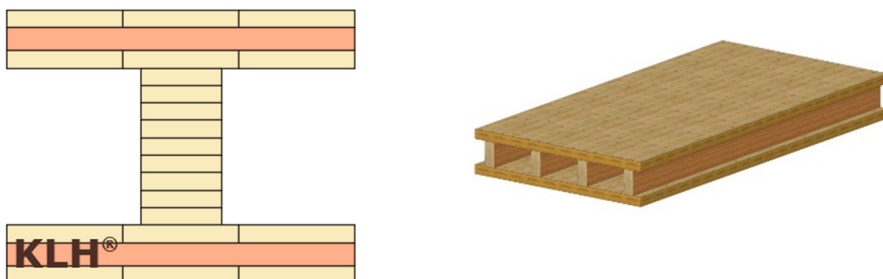


Figure 3 - Élément KLH®-CLT nervuré Caisson H

Les éléments KLH®-CLT nervuré caisson H sont utilisés uniquement en tant que planchers.

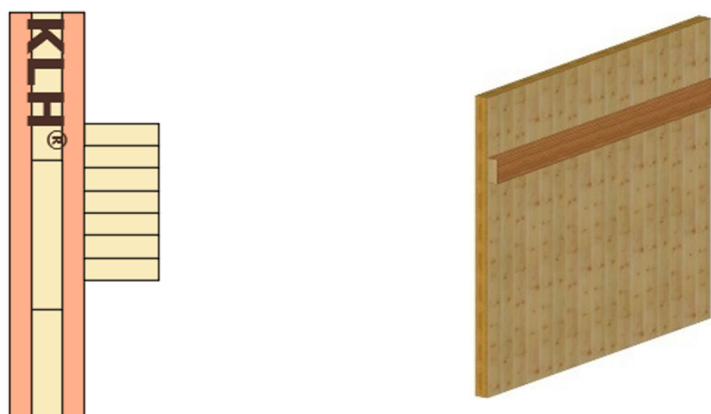
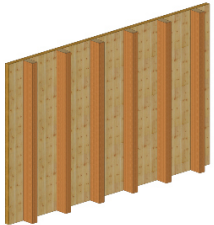
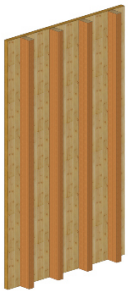



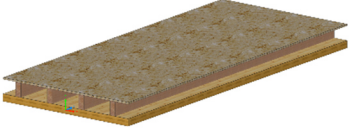





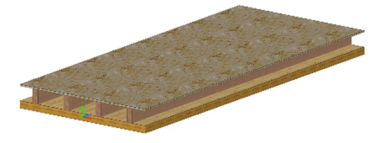

Figure 4 - Mur KLH®-CLT nervurée avec muralière



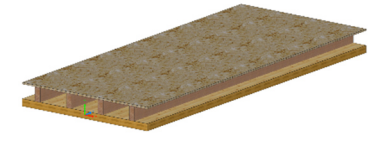

Les éléments KLH®-CLT nervuré avec muralière sont utilisés uniquement en tant que murs.

Les différents éléments nervurés réalisables sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau I – Dispositions des panneaux KLH®-CLT nervurée

Type élément nervuré	Désignation	Matériau				Représentation	
		Possibilité Type Panneau - Tablier supérieur	Type Nervure et orientation	Possibilité Type Panneau - Tablier inférieur	Panneau de fermeture éventuel		
Murs	Murs KLH®-CLT nervuré T	Panneau KLH de type Q	Lamellé-collé ou BMR avec orientation selon sens fibre du panneau KLH	-	<ul style="list-style-type: none"> - Panneaux OSB/3 certifiés CTB panneaux de process - Ecran rigide selon DTU 31.2 		
		Panneau KLH de type L		-	<ul style="list-style-type: none"> - Panneaux OSB/3 certifiés CTB panneaux de process - Ecran rigide selon DTU 31.2 		
	Murs KLH®-CLT type Q nervuré M	Panneau KLH de type Q	Lamellé-collé avec orientation perpendiculaire au sens de fibre du panneau KLH	-	-		
Plancher nervurés	Plancher KLH®-CLT nervuré T	Panneau KLH de type L	Lamellé-collé ou BMR Avec orientation selon sens fibre du panneau KLH	-	-		
	Plancher KLH®-CLT nervuré inversé T	-		Panneau KLH de type L	-		
	Plancher KLH®-CLT nervuré inversé avec panneau de fermeture	-		Panneau KLH de type L	-	<ul style="list-style-type: none"> - Panneaux en bois ou à base de bois du DTU51.3 	
	Plancher KLH®-CLT nervuré caisson H	Panneau KLH de type L		Panneau KLH de type L	-	-	

Type élément nervuré	Désignation	Matériau				Représentation	
		Possibilité Type Panneau - Tablier supérieur	Type Nervure et orientation	Possibilité Type Panneau - Tablier inférieur	Panneau de fermeture éventuel		
Support de toitures nervurés	Support de toiture KLH®-CLT nervuré T	Panneau KLH de type L	Lamellé-collé ou BMR Avec orientation selon sens fibre du panneau KLH	-	-		
	Support de toiture KLH®-CLT nervuré T inversé	-		Panneau KLH de type L	-		
	Support de toiture KLH®-CLT nervuré T inversé avec panneau de fermeture	-		Panneau KLH de type L	-	<ul style="list-style-type: none"> - Panneaux de contreplaqué certifiés NF extérieur CTBX - Panneaux de particules certifiés CTB-H - Panneaux OSB/3 certifiés CTB - Panneaux de process - Panneaux de LVL certifiés NF extérieur CTBX 	
	Support de toiture KLH®-CLT nervuré caisson H	Panneau KLH de type L		Panneau KLH de type L	-		

Type élément nervuré	Désignation	Matériau				Représentation
		Possibilité Type Panneau - Tablier supérieur	Type Nervure et orientation	Possibilité Type Panneau - Tablier inférieur	Panneau de fermeture éventuel	
Support de couvertures nervurés	Support de couverture KLH®-CLT nervuré T	Panneau KLH de type L	Lamellé-collé ou BMR Avec orientation selon sens fibre du panneau KLH	-	-	
	Support de couverture KLH®-CLT nervuré T inversé	-		Panneau KLH de type L	-	
	Support de couverture KLH®-CLT nervuré T inversé avec panneau de fermeture	-		Panneau KLH de type L	<p>Avec membrane pare-vapeur</p> <ul style="list-style-type: none"> - Panneaux en bois ou à base de bois selon le DTU43.4 - Panneaux OSB/3 certifiés CTB - Panneaux de process <p>Sans membrane pare-vapeur</p> <ul style="list-style-type: none"> - Panneaux SWISS KRONO OSB3 certifiés par le FCBA, y compris la valeur sd 	
	Support de toiture KLH®-CLT nervuré caisson H	Panneau KLH de type L		Panneau KLH de type L	-	

Les éléments KLH®-CLT nervurés peuvent être fermés aux extrémités par des entretoises de même nature que les nervures ou par un panneau conforme au DTU 31.2. Ces entretoises sont soit collées ou fixées mécaniquement.

Tous les composants KLH®-CLT nervurés sont collés par collage structural comme décrit dans le §2.4.4 du présent Dossier Technique.

Les éléments KLH®-CLT nervuré T inversé utilisés en support de toiture et en support de couverture peuvent contenir des isolants entre nervures (cf. § 3 et 4). Ces isolants sont mis en œuvre en atelier. Dans ce cas, les caissons comportent aux extrémités une nervure de fermeture ou un panneau conforme au NF DTU 31.2.

Les éléments KLH®-CLT nervuré T inversé utilisés en support de couverture comportant un panneau de fermeture, nécessitent un traçage en atelier symbolisant le positionnement des nervures pour la mise en œuvre de la couverture sur chantier.

Les tolérances de dimension des éléments KLH®-CLT nervuré à une humidité de 12% ± 2% sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 2 - Tolérance des éléments KLH®-CLT nervurés

Dimension	Tolérance (mm)
Épaisseur de l'élément KLH®-CLT nervuré	± 2,0 mm
Largeur de l'élément KLH®-CLT nervuré	± 2,0 mm
Longueur de l'élément KLH®-CLT nervuré	± 5,0 mm

2.5.1. Caractéristiques physiques des éléments KLH®-CLT Nervurés

2.5.1.1. Masse volumique ρ_m et ρ_k

La masse volumique à considérer pour le panneau KLH®-CLT et les principales masses volumiques à utiliser pour les nervures sont mentionnées à titre indicatif dans le tableau 2 conformément à la NF EN 14080 :2013 et à la NF EN 14081 :2016 :

Tableau 3 - masses volumiques caractéristiques du tablier KLH®-CLT et des nervures

	ρ_k	ρ_{mean}
Caractéristiques tablier KLH®-CLT	385	420
Nervures C24	350	420
Nervures C30	380	460
Nervures GL24h	385	420
Nervures GL28h	425	460
Nervures GL32h	440	490

Pour le calcul, le transport et le levage des panneaux nervurés, il est conseillé de prendre une masse volumique moyenne de 500 kg/m³ avec de l'épicéa et 550 kg/m³ en pin sylvestre. Le poids des assemblages est conventionnellement inclus dans ces masses unitaires.

2.5.1.2. Variations dimensionnelles

Tableau 4 - Stabilité dimensionnelle du tablier KLH®-CLT et des nervures

Tablier KLH®-CLT	Rétractibilité en % pour 1% de variation d'humidité du bois.	
	Perpendiculaire au plan du panneau	Dans le plan du panneau KLH®-CLT
	0.24	0.01
Nervures lamellé-collé, bois massif ou BMA	Perpendiculairement au sens du fil du bois	Parallèlement au sens du fil du bois
	0.25	0.01

2.5.1.3. Capacité calorifique massique c_p

$c_p = 1600 \text{ J/kg.K}$ soit 1,6 kJ/kg.K

2.5.1.4. Coefficient de conductibilité thermique

Les éléments KLH®-CLT nervurés ont un coefficient de conductibilité thermique utile λ_{utile} égal à 0,12 W/(m.k).

Les éléments KLH®-CLT nervurés autoportant peuvent cependant contenir une isolation supplémentaire de type laine minérale entre âmes. Par conséquent, les valeurs de la résistance thermique R et du coefficient de transmission thermique U du caisson ainsi équipé en isolant dépendent de ses dimensions mais aussi des matériaux placés entre les nervures.

2.5.1.5. Affaiblissement acoustique R_w

Les performances acoustiques des éléments KLH®-CLT nervurés dépendent à la fois de la nature des tabliers KLH et des nervures (hauteur, épaisseurs), de leurs positionnements relatifs (entraxe des nervures par exemple), que des éléments rapportés de finition (sous faces, résilients, etc.) et d'isolation (nature, épaisseur, etc.).

La performance acoustique des éléments KLH®-CLT nervurés peut s'évaluer en considérant le complexe total de la paroi avec uniquement l'apport du tablier KLH®-CLT sans considérer l'apport des nervures qui reste négligeable. Le panneau KLH®-CLT dispose d'un catalogue de complexes acoustiques testés en laboratoire ou sur site.

2.5.1.6. Résistance à la diffusion de la vapeur d'eau

Les panneaux KLH-CLT présente les caractéristiques suivantes :

- Densité moyenne $\geq 380 \text{ kg/m}^3$
- Facteur de diffusion de la vapeur d'eau égal à :
 - 300 à la coupelle sèche selon la méthode A de la norme NF EN 12572
 - 46 à la coupelle humide selon la méthode C de la norme NF EN 12572

La conformité de la densité moyenne du panneau KLH®-CLT $\geq 380 \text{ kg/m}^3$ ainsi que le contrôle des épaisseurs des lamelles et de l'épaisseur des joints de colle entrant dans la composition de l'élément KLH®-CLT permet de s'assurer de la constance des propriétés de résistance à la vapeur d'eau du panneau KLH®-CLT

2.6. Fabrication

Les usines de fabrication des éléments nervurés KLH®-CLT sont :

- KLH Massivholz GmbH, Gewerbestrasse 4 A-8842 Teufenbach-Katsch ;
- CBCO, 50, route Principale F-62650 Preures.

Le processus de fabrication des panneaux KLH®-CLT nervurés comporte les étapes suivantes :

- Réception et stockage des panneaux KLH®-CLT et des nervures à une humidité de $12 \pm 2 \%$;
- Nettoyage et vérification visuelle des surfaces ;
- Encollage des nervures en bois lamellé-collé ;
- Assemblages des nervures sur le panneau KLH®-CLT ;
- Serrage de la presse ou assemblage par vis garantissant la pression de serrage suffisante ;
- Temps de prise de l'adhésif ;
- Temps de stabilisation ;
- Usinage éventuel ;
- Finition éventuelle ;
- Marquage des éléments nervurés ;
- Mise en place éventuelle d'éléments complémentaires (moyens de levage, vis de frettage...).

Le collage des panneaux KLH®-CLT nervurés peut être réalisé de deux façons :

- En collage sous presses hydrauliques (usine française) ;
- En collé-vissé (usine autrichienne uniquement).

Les panneaux KLH®-CLT et les panneaux KLH®-CLT Nervurés M (avec muralières) ne sont ni fabriqués, ni collés-vissés dans l'usine CBCO (France) ».

2.7. Contrôles de fabrication

Les paramètres de contrôle du facteur de diffusion sont énumérés dans le paragraphe suivant 2.7.1.

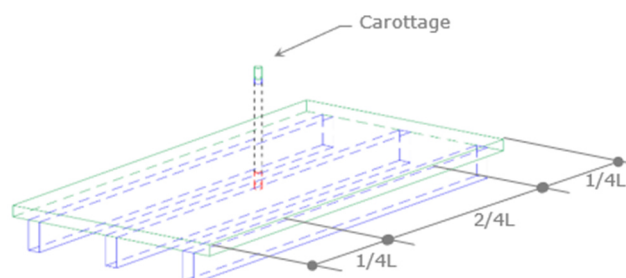
2.7.1. Essais mécaniques

Pour caractériser le joint de colle des panneaux KLH®-CLT Nervurés entre les nervures et le panneau de CLT, entre les nervures et les tabliers (le cas échéant) et entre le panneau CLT et la muralière, les essais suivants sont réalisés par un tiers pour les panneaux KLH®-CLT Nervurés :

- Essais de cisaillement conformément à l'annexe D de la norme NF EN 14080 :
 - 2 éprouvettes pour les éléments KLH®-CLT nervurés T ou T inversés ;
 - 4 éprouvettes pour les éléments KLH®-CLT nervurés caisson H (2 sur le tablier supérieur et 2 inférieurs).
- Essais de délamination conformément à l'annexe C de la norme NF EN 14080 :
 - 1 éprouvette pour les éléments KLH®-CLT nervurés M.

L'échantillon doit idéalement être prélevé idéalement au niveau de la première nervure encollée, et situé dans la zone centrale de la nervure.

La résistance en cisaillement du joint de colle entre les nervures et le panneau de CLT et entre les nervures et les tabliers est validée par un prélèvement d'une carotte de cisaillement incluant le joint de colle nervure – panneau/tablier. Ce joint de colle est testé en cisaillement dans un dispositif spécifique. La fréquence de prélèvement est un prélèvement par poste et par presse.



La fréquence pour les éléments KLH®-CLT nervurés M (avec muralière) est d'un essai par panneau.

2.7.2. Contrôle interne de fabrication

Le contrôle interne de la fabrication des panneaux nervurés KLH®-CLT, destiné à assurer la maîtrise de la qualité, est effectué en continu. Les critères de contrôles évalués sont les suivants :

Facteur de résistance à la vapeur d'eau du panneau KLH®- CLT

La conformité de la densité moyenne du panneau KLH®- CLT \geq à 380 kg/m³ ainsi que le contrôle des épaisseurs des lamelles et de l'épaisseur des joints de colle entrant dans la composition de l'élément KLH®-CLT permet de considérer les propriétés de résistance à la vapeur d'eau du panneau KLH®-CLT données au § 2.5.1.6 :

- Contrôle de l'épaisseur du joint de collage : contrôle interne KLH avec au minimum une mesure par presse et par équipe / contrôle externe par laboratoire Holzforschung 2 fois par an ; épaisseur du joint de colle comprise entre 0.05 et 0.15mm.
- Contrôle des épaisseurs de lamelles : contrôle interne KLH à chaque changement d'épaisseur de planches dans la production des panneaux / contrôle externe par laboratoire Holzforschung 2 fois par an ; la tolérance sur l'épaisseur des lamelles doit rester inférieure à 0,01 mm sur une longueur de lamelle d'un mètre sur une section de planche de 30x231mm.
- Contrôle des largeurs de lamelles : contrôle interne KLH à chaque changement d'épaisseur de planches dans la production des panneaux / contrôle externe par laboratoire Holzforschung 2 fois par an ; la tolérance sur la largeur des lamelles doit rester inférieure à 0,01 mm sur une section de planche de 30x231mm.
- Contrôle de la densité des panneaux : sur chaque éprouvette de délamination (\geq à 380 kg/m³).

Résistance mécanique (Module d'élasticité, résistance à la flexion, résistance à la compression, résistance à la traction et résistance au cisaillement)

Les nervures sont réalisées soit en bois lamellé collé ou en bois massif reconstitué conforme à la norme NF EN 14080, soit en bois massif abouté conforme à la norme NF EN 15497, soit en bois massif conforme à la norme NF EN 14081. Les DOP fournisseurs attestent des performances mécaniques des nervures. Les panneaux KLH®-CLT sont conformes à l'ETA 06/0138 et le Document Technique d'Application 3.3/20-1016_V1. Le contrôle à réception des produits permet de valider ce critère via des modes opératoires rédigés en interne.

Stabilité dimensionnelle

Le contrôle à réception des produits approvisionnés (DoP, certificats, fiches techniques) et le contrôle de la géométrie des produits pour nervures, muralière, et KLH®-CLT permet d'assurer ce paramètre.

Résistance de joint collage entre couches

Pour s'assurer de la bonne qualité du collage (joint mince d'épaisseur inférieure à 0,3mm en moyenne avec la colle polyuréthane ou inférieure à 2mm en moyenne avec la colle résorcine), le climat est mesuré et contrôlé (température et humidité relative). Les éléments à assembler présentent des températures et humidités aptes au collage.

Le taux d'humidité des bois doit être compris entre 8% et 15% avec une différence entre le panneau KLH®-CLT et la nervure qui ne doit pas dépasser 4%. Les surfaces de collage des éléments sont nettoyées selon les procédures internes.

La largeur du joint de colle correspond à la largeur de la nervure en négligeant les chanfreins des nervures.

Durabilité contre les attaques biologiques

Sur demande, les éléments KLH®-CLT nervurés sont traités dans les ateliers CBCO ou KLH selon le lieu de fabrication après collage des panneaux nervurés avec un produit de traitement certifié CTBP+.

Dégagement / teneur en substances dangereuses

Ce paramètre est validé par le biais du contrôle à réception de l'adhésif selon sa fiche technique.

2.7.3. Contrôle externe de fabrication

Le contrôle externe est réalisé 2 fois par an par l'organisme notifié français FCBA et par le Holzforschung en Autriche. Les contrôles présentent les tâches suivantes :

- Vérification du système de contrôle interne (Contrôle de Production en Usine) ;
- Réalisation d'un examen détaillé du processus de production, depuis les matières premières jusqu'aux produits finis (panneaux découpés) y compris le respect de tout le paramétrage de collage ;
- Essais chaque année sur plusieurs éprouvettes de cisaillement.

L'usine CBCO (France) est certifiée CTB composants et systèmes bois pour la fabrication des éléments KLH®-CLT nervurés. Cette certification est assurée par l'organisme notifié Français FCBA.

2.8. Dimensionnement – Généralités

Les éléments KLH®-CLT nervurés sont calculés conformément aux Eurocodes. Les règles de dimensionnement définies dans la NF EN 1995-1-1 (Eurocode 5) s'appliquent. Le facteur de modification k_{mod} et le coefficient partiel de sécurité γ_M à appliquer aux éléments nervurés KLH est celui du bois lamellé collé. Les facteurs de déformation k_{def} à prendre en compte sont ceux des matériaux qui constituent les éléments nervurés. Tous ces coefficients sont rassemblés dans le tableau 5 :

Tableau 5 - Coefficients K_{mod} et K_{def} du tablier KLH®-CLT et des nervures

		K_{mod}		K_{def}			
		KLH & LC		KLH		Nervures LC	
Classe de service		1	2	1	2	1	2
Action	Permanente	0.6		0.8	1.0	0.6	0.8
	Long terme	0.7					
	Moyen terme	0.8					

	Court terme	0.9				
	Instantanée	1.1				
Coefficient partiel de sécurité γ_M		1.25				

Si le facteur de déformation du tablier KLH®-CLT diffère de celui des nervures, on utilisera un facteur de déformation résultant de la moyenne géométrique conformément au paragraphe 2.3.2.2 de la norme EN 1995-1-1 :

$$k_{\text{def, moy}} = \sqrt{k_{\text{def, KLH}} \times k_{\text{def, nervure}}}$$

Les charges et les combinaisons de charges sont calculées conformément aux règles définies par les NF EN 1990 et NF EN 1991 (Eurocodes 0 et 1).

En ce qui concerne le dimensionnement au feu, il convient d'employer les règles données dans l'avis de laboratoire N° AL 20-291 du 03/02/2022.

En ce qui concerne le dimensionnement tenant compte de sollicitations de type séisme il convient d'employer les méthodes décrites dans la

NF EN 1998 (Eurocode 8).

La documentation technique mise à disposition des utilisateurs du procédé par la société KLH propose des tableaux de prédimensionnement en fonction de la portée, des charges d'exploitation et des critères de flèche retenus. Ce prédimensionnement, utile en phase d'avant-projet, ne se substitue pas au dimensionnement qui doit faire l'objet d'une note de calcul spécifique par un bureau d'études, au cas par cas, en tenant compte des particularités du projet.

Un logiciel de calcul intégrant les particularités de l'EN 1995-1-1/NA de mai 2010 est à disposition des bureaux d'études.

2.9. Dimensionnement des planchers KLH® nervurés

2.9.1. Principe de calcul

A moins qu'une analyse plus détaillée ne soit réalisée, un élément KLH®-CLT nervuré se décompose en un ensemble de poutres. La largeur à considérer pour ces poutres de calcul est une largeur efficace (b_{ef}).

Compte tenu des différences de module d'élasticité des constituants des poutres de calcul KLH®-CLT nervurés, les méthodes de vérifications et de calcul des déformations peuvent s'appuyer sur une rigidité efficace (EI_{eff}) calculée suivant la méthode décrite dans l'annexe B de la NF EN 1995-1-1 avec un module de glissement entre les composants infinis ($\gamma = 1$), cependant KLH préconise la méthode Timoshenko qui est détaillée au §7.3. Les valeurs limites de flèche sont calculées conformément aux eurocodes, leurs annexes nationales et les DTU en vigueur.

2.9.1.1. Décomposition des éléments KLH®-CLT nervurés en poutre de calcul

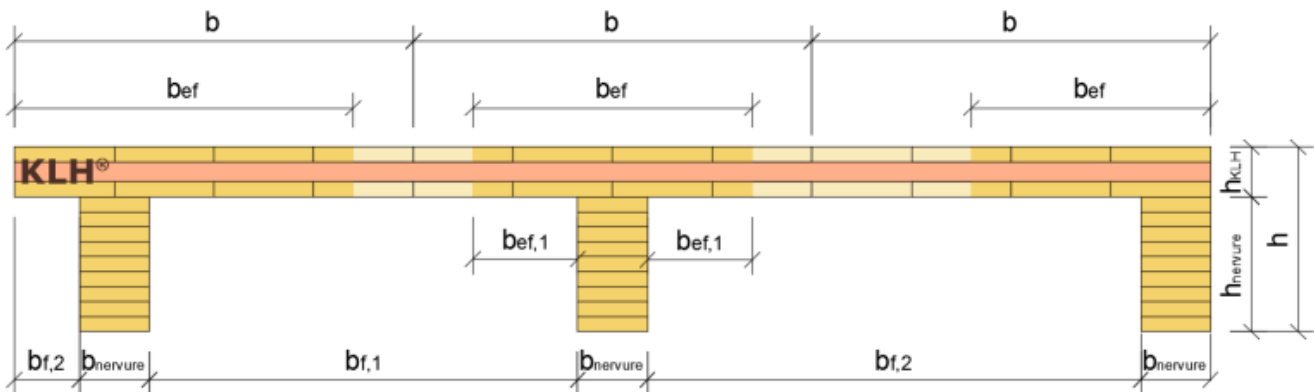


Figure 5 - Définition de la largeur b_{ef} d'une poutre de calcul

Avec :

- b l'entraxe des nervures en mm ;
- $b_{f,i}$ l'entraxe entre nervures en mm ;
- b_{ef} la largeur efficace en mm ;
- $b_{ef,i}$ la largeur efficace de chaque côté de la nervure en mm ;
- $b_{nervure}$ l'épaisseur de la nervure en mm ;
- L la portée en mm ;
- h la hauteur totale de l'élément nervuré KLH®-CLT en mm ;
- $h_f = h_{KLH}$ la hauteur du tablier KLH®-CLT en mm ;
- $h_{nervure}$ la hauteur de la nervure en mm ;

Les éléments KLH®-CLT nervurés sont décomposés en poutres de calcul avec les précisions suivantes :

- La portée L d'un élément KLH®-CLT nervuré peut être prise comme la distance entre les positions où le moment de flexion est nul.
- Lorsque le ratio de la distance entre nervures $b_{f,i}$ par la portée L, soit $b_{f,i} / L < 0.02$, la largeur efficace b_{ef} du panneau KLH®-CLT peut être considérée égale à l'entraxe b entre nervures comme ($b_{ef} = b$)
- La largeur efficace b_{ef} peut se déterminer par l'expression suivante : $b_{ef} = b_{nervure} + \sum b_{ef,i}$
- si le ratio de la distance entre nervures $b_{f,i}$ par la portée L vaut $0.02 < b_{f,i} / L \leq 0.25$ et
- si le ratio de la portée L par la hauteur totale h est $14 \leq L / h \leq 22$.

Aux Etats Limites Ultimes (ELU) pour des charges uniformément réparties et aux Etats Limites de Service (ELS) pour des charges uniformément réparties ou ponctuelles, la largeur efficace de chaque côté de la nervure $b_{ef,i}$ est déterminée comme suit :

$$b_{ef,i} = b_{f,i} \times \left[0,5 - 0,35 \left(\frac{b_{f,i}}{L} \right)^1 \left(\frac{(EA)_x}{S_{xy}^*} \right)^{0,4} \right]$$

Où

- $(EA)_x$ est la rigidité en plan du tablier KLH®-CLT ayant une largeur d'un mètre, en N/m ;
- L est la portée en m ;
- S_{xy}^* est la rigidité en plan de cisaillement du tablier KLH®-CLT ayant une largeur d'un mètre, en N/m ;
- $S_{xy}^* = (GA)_{xy} \times 1m$, en N/m ;
- $(GA)_{xy}$ est la rigidité de cisaillement en plan, en N/mm² ;
- $b_{f,i}$ l'entraxe entre nervures en mm ;
- $b_{ef,i}$ la largeur efficace de chaque côté de la nervure en mm ;
- Les rigidités (EA) et $(GA)_{xy}$ sont données dans le tableau 7 du dossier technique.

Aux Etats Limites Ultimes (ELU) pour des charges ponctuelles, la largeur efficace de chaque côté de la nervure $b_{ef,i}$ est déterminée comme suit :

Pour

$$\frac{h_{nervure}}{h_f} \leq 2 \quad b_{ef,i} = b_{f,i} \times \left[0,5 - 0,40 \left(\frac{b_{f,i}}{L} \right)^{0,15} \left(\frac{(EA)_x}{S_{xy}^*} \right)^{0,1} \right]$$

Pour :

$$\frac{h_{nervure}}{h_f} > 2 \quad b_{ef,i} = b_{f,i} \times \left[0,5 - 0,275 \left(\frac{b_{f,i}}{L} \right)^{0,3} \left(\frac{(EA)_x}{S_{xy}^*} \right)^{0,3} \right]$$

Pour les charges ponctuelles situées à une distance inférieure à b là où le moment de flexion est nul, ou pour des charges ponctuelles qui ont une longueur d'introduction de charge inférieure ou égale à 0.05l, la largeur $b_{ef,i}$ de chaque côté de la nervure est prise à 0.

- ($b_{ef} = b_{nervure}$)

2.9.2. Résistance à la flexion

La vérification de la contrainte de flexion se détermine dans la nervure et dans le tablier KLH®-CLT avec la formule suivante :

$$\sigma_{m(z)_d} = \frac{M_{Ed}}{EI} \times E_i \times z_i \leq f_{m,d}$$

Avec :

- $\sigma_m(z)$ la contrainte de flexion à la position z en N/mm²
- M_{Ed} valeur de calcul du moment de flexion en Nm
- EI Rigidité nette de flexion de la section composée en N/mm²
- E_i Module de flexion de la nervure ou du tablier KLH®-CLT en N/mm²
- z_i position à laquelle la contrainte de flexion doit être déterminée en mm.

$$EI = \sum_i EI_i + \sum_i EA_i \times z_i^2$$

- EI_i Rigidité de flexion de la section i ou de la couche individuelle d'un panneau KLH®-CLT en N/mm²
- EA_i Rigidité de traction de la section i ou de la couche individuelle d'un panneau KLH®-CLT en N
- $f_{m,d}$ la valeur de calcul de la résistance en flexion du KLH ($f_{m,k} = 24$ N/mm²). ou de la nervure ($f_{m,k} = 24$ N/mm² pour du GL24h).

Pour les éléments soumis en flexion, le coefficient correctif k_h de la norme NF EN 1995-1-1 §3.3 peut être appliqué.

2.9.2.1. Contraintes combinées

En cas de présence d'un effort normal ou d'inclinaison d'un élément KLH®-CLT nervurés, une composante de charge axiale apparaît. Ces équations s'appliquent à toute la section, de haut en bas. La vérification des contraintes doit ensuite être exécutée conformément à la norme NF EN 1995-1-1, parties 6.2.3 et 6.2.4 :

Contrainte de flexion et normale en traction ou Contrainte de flexion et normale en compression

$$\frac{\sigma_{m,i,d}}{f_{m,i,d}} + \frac{\sigma_{t,i,d}}{f_{t,i,d}} \leq 1 \text{ ou } \frac{\sigma_{m,i,d}}{f_{m,i,d}} + \left(\frac{\sigma_{c,i,d}}{f_{c,i,d}} \right)^2 \leq 1$$

Avec :

- $\sigma_{m,i,d}$ la valeur de calcul de la contrainte en flexion dans la section i
- $f_{m,i,d}$ la valeur de calcul de la résistance en flexion de la section i (KLH : $f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$ ou de la nervure : $f_{m,k} = 24 \text{ N/mm}^2$ pour du GL24h).
- $\sigma_{t,i,d}$ la valeur de calcul de la contrainte en traction dans la section i
- $f_{t,i,d}$ la valeur de calcul de la résistance en traction de la section i (KLH : $f_{t,k} = 16.5 \text{ N/mm}^2$ ou de la nervure : $f_{t,k} = 19.2 \text{ N/mm}^2$ pour du GL24h).
- $\sigma_{c,i,d}$ la valeur de calcul de la contrainte en compression dans la section i
- $f_{c,i,d}$ la valeur de calcul de la résistance en compression de la section i (KLH : $f_{c,k} = 24 \text{ N/mm}^2$ ou de la nervure : $f_{c,k} = 24 \text{ N/mm}^2$ pour du GL24h).

2.9.3. Résistance au cisaillement

2.9.3.1. Cas 1 : Appuis sur nervures

Les contraintes de cisaillement maxi sont déterminées en considérant par simplification les propriétés de section de la figure 6.

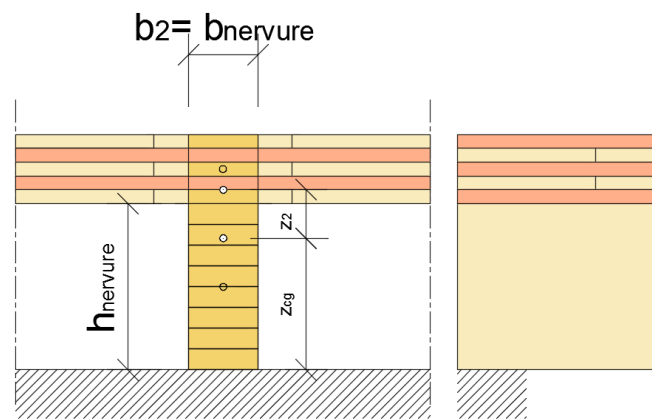


Figure 6 - définition de la section cisailée lorsque la nervure est appuyée

La vérification de la résistance sous l'effet de l'effort tranchant est à calculer au centre de gravité de la section et dans le panneau KLH®-CLT au niveau du joint de colle le plus sollicité :

- au niveau du centre de gravité z_{cg} de la section cisailée:

$$\tau_{(z_{cg})d} = \frac{V_{Ed} \times S_{net}(z_{cg}) \times E_{mean,nervure}}{EI \times b_{nervure}} \leq f_{v,d}$$

Avec :

- V_{Ed} valeur de calcul de l'effort tranchant en N
- $S_{net}(z_{cg})$ Moment statique à la position du centre de gravité de la section orange en figure 6 en mm^3
- (EI) Rigidité nette de la section orange en figure 6 en mm^4
- $b_{nervure}$ Largeur de la nervure en mm
- $f_{v,d}$ Résistance en cisaillement de calcul de la nervure ($f_{v,k} = 3.5 \text{ N/mm}^2$ pour du lamellé collé)

Il est possible d'appliquer le coefficient correctif k_{cr} de la norme NF EN 1995-1-1 seulement pour la nervure.

- dans le panneau KLH®-CLT au niveau du pli transversal le plus proche du centre de gravité de la section cisailée :

$$\tau_{(z_2)d} = \frac{V_{Ed} \times S_{net}(z_2) \times E_{mean,KLH}}{EI \times b_2} \leq f_{Rv,d}$$

Avec :

- V_{Ed} valeur de calcul de l'effort tranchant en N
- $S_{net}(z_2)$ Moment statique à la position du premier pli transversal de la section orange en figure 6 en mm^3
- (EI) Rigidité nette de la section orange en figure 6 en mm^4
- b_2 Largeur du tablier KLH®-CLT prise égale à la largeur de la nervure en mm
- $f_{Rv,d}$ Résistance en cisaillement roulant du KLH®-CLT ($f_{Rv,k} = 1.2 \text{ N/mm}^2$)

2.9.3.2. Cas 2 : Appui uniquement par le panneau de KLH®-CLT – et nervures en retrait

Dans ce cas, les planchers nervurés sont appuyés par le tablier KLH®-CLT dans la direction longitudinale. Cela impose :

- que le panneau de KLH®-CLT soit plus long que les nervures d'une valeur égale à au moins la longueur d'appui.

- que des vis de renforcement d'assemblage à double filetage ou à filetage total soient positionnées entre le KLH®-CLT et les nervures si aucun sabot, aucune muralière, aucun étrier en âme ne supporte l'appui de nervure.
- de considérer uniquement les vis de renforcement entre le KLH®-CLT et les nervures pour faire transiter les efforts.
- que la longueur des vis de renforcement aient une longueur mini égale à $h_{KLH} + 0.7 \times h_{nervure}$

Le positionnement des vis de renforcement sont celles décrites dans les ETE associés (espacement et distribution des vis pour reprise des efforts de traction transversale).

La vérification du cisaillement doit se faire dans le panneau de KLH®-CLT à l'appui. On vérifiera uniquement le cisaillement roulant plus défavorable que le cisaillement longitudinal.

$$\tau_d = \frac{V_{Ed} \times S_{R,net}}{I_{net} \times b_3} \leq f_{Rv,d}$$

Avec :

- V_{Ed} valeur de calcul de l'effort tranchant par nervure en N
- $S_{R,net}$ Moment statique du tablier KLH®-CLT en mm^3 pour un panneau d'un mètre de large (valeur donnée dans le tableau 7 du dossier technique)
- I_{net} Inertie nette du tablier KLH®-CLT en mm^4 pour un panneau d'un mètre de large (valeur donnée dans le tableau 7 du dossier technique)
- b_3 Largeur cisailée ($b_3 = b_{nervure} + 2 \times e$) en mm

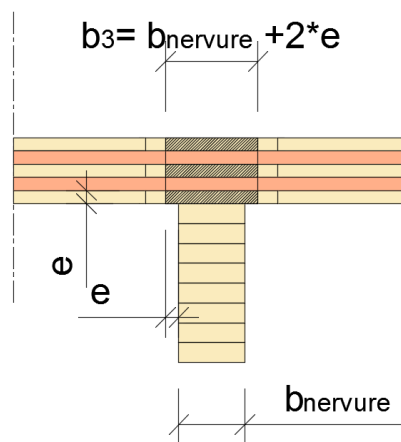


Figure 7 - définition de la surface cisailée lorsque la nervure n'est pas appuyée

Le tableau 8 du dossier technique renseigne sur l'épaisseur minimale du tablier en fonction de l'épaisseur des nervures et l'effort tranchant de calcul avec comme hypothèse un k_{mod} pris à 0.8.

La vérification du transfert des efforts des nervures dans le tablier KLH®-CLT ne doit considérer que les vis de renforcement :

$$F_{t,d} \leq n \times F_{ax,R,d}$$

Avec :

- $F_{t,d}$ Effort de traction transversal entre la nervure et le KLH au niveau de l'appui ;
- n Nombre de vis de renforcement par nervure et extrémité ;
- $F_{ax,R,d}$ Résistance d'une vis de renforcement.
- $F_{t,d}$ se calcule comme suit : $F_{t,d} = k_1 \times V_{d,max}$

Avec $k_1 = 1.3$

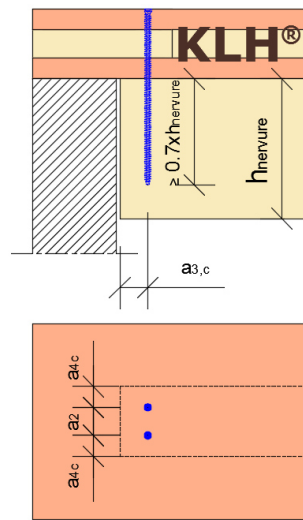


Figure 8 - principe de disposition du renforcement (vis à 90°)

Les vis de renforcement doivent bénéficier d'une ETE et relever de la norme EN 14592. Les pinces a2, a4c et a3c sont issues de l'eurocode 5 ou bien de l'ETE du fabricant de vis.

Cette configuration d'appui avec les nervures en retrait ne vise pas les élément KLH®-CLT nervuré Caisson H.

2.9.4. Compression perpendiculaire au fil au niveau des appuis

2.9.4.1. Longueur minimale d'appui

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

2.9.4.2. Cas 1 : Appuis sur nervures

Dans ce cas, les planchers nervurés sont appuyés par le dessous au niveau de leurs nervures.

La vérification de la compression au niveau des appuis s'effectue conformément à la NF EN 1995-1-1 :

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

$\sigma_{c,90,d}$ est la valeur de calcul de la contrainte de compression dans la zone de contact efficace perpendiculaire au fil.

$F_{c,90,d}$ est la valeur de calcul de la charge en compression perpendiculaire au fil.

$A_{ef} = b_{nervure} \times l_{ef}$ est l'aire de contact efficace en compression perpendiculaire au fil.

l_{ef} la longueur d'appui efficace égale à la largeur d'appui réelle augmentée de 30 mm sans dépasser a, l ou 0.5 l1 suivant les notations du §6.1.5 de l'Eurocode 5.

$f_{c,90,d}$ est la valeur de calcul de la résistance en compression perpendiculaire au fil de la nervure en bois lamellé-collé ou BMR.

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

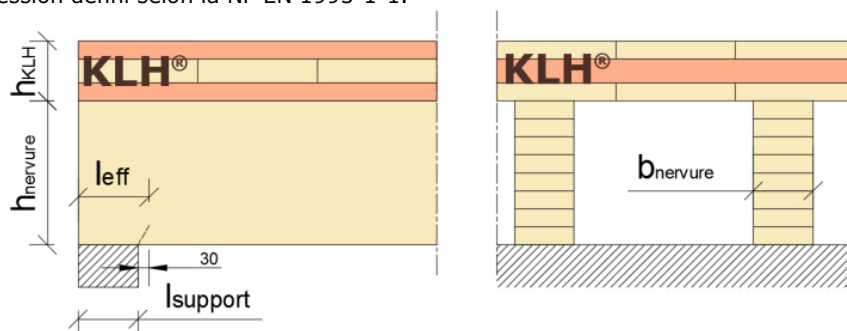


Figure 9 - Détail d'un élément KLH®-CLT nervuré avec appuis sur nervures. Gauche : longueur efficace d'appui (l_{ef}) de la nervure. Droite : La largeur ($b_{nervure}$) de la nervure.

La présence d'entretoises est obligatoire lorsque les nervures appuient sur les murs inférieurs et que les murs supérieurs périphériques reposent sur le tablier KLH®-CLT afin d'assurer le transfert de charge au support. Dans ce cas, l'aire de contact est définie par le produit de l'entraxe nervure b et la largeur mini entre le support et l'entretoise, sans considérer de la diffusion de 30mm ($A_{ef} = b \times \min(l_{support} ; l_{entretoise})$).

2.9.4.3. Cas 2 : Appui uniquement par le panneau de KLH®-CLT – et nervures en retrait

Les vérifications à mener sont les suivantes (Figure 10) :

Vérification de la compression au niveau des appuis s'effectue conformément à la NF EN 1995-1-1 :

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

$A_{ef} = b \times l_{ef}$ est l'aire de contact efficace en compression perpendiculaire au fil.

Sa valeur est prise égale à celle donnée dans le DTA 3.3/20-1016_V1.

b est l'entraxe entre nervures

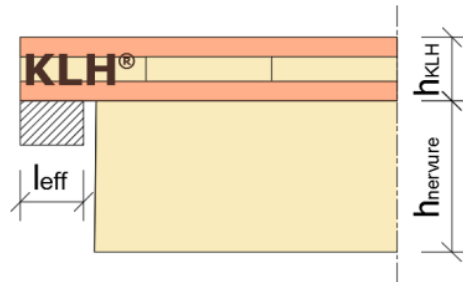


Figure 10 - Détail d'un élément KLH®-CLT nervuré avec appuis sur tablier KLH®-CLT.

Pour les appuis du tablier KLH®-CLT sur des murs ou poutres en acier, béton ou en bois massif, on prendra la surface réelle de contact.

$f_{c,90,d}$ est la valeur de calcul de la résistance en compression perpendiculaire au fil du panneau KLH®-CLT. La vérification est réalisée conformément aux prescriptions du CPT 3802-P2, paragraphe 3.3.3.

$k_{c,90,CLT}$ est un facteur qui tient compte de la configuration de chargement, de la possibilité de fendage et du degré de déformation en compression défini selon le CPT 3802-P2, paragraphe 3.3.3 ou bien selon l'annexe K de la norme ÖNORM EN1995-1-1, qui est résumée au §2.9.4.5.

2.9.4.4. Cas 3 : Appui par le panneau de KLH®-CLT – Éléments KLH®-CLT nervurés ouvert inversé et caissons H

La vérification de la compression au niveau des appuis s'effectue conformément à la NF EN 1995-1-1 :

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

$A_{ef} = b \times l_{ef}$ est l'aire de contact efficace en compression perpendiculaire au fil. Sa valeur est prise égale à celle donnée dans le DTA 3.3/20-1016_V1.

Pour les appuis du tablier KLH®-CLT sur des murs ou poutres en acier, béton ou en bois massif, on prendra la surface réelle de contact.

$f_{c,90,d}$ est la valeur de calcul de la résistance en compression perpendiculaire au fil du panneau KLH®-CLT. La vérification est réalisée conformément aux prescriptions du CPT 3802-P2, paragraphe 3.3.3.

$k_{c,90,CLT}$ est un facteur qui tient compte de la configuration de chargement, de la possibilité de fendage et du degré de déformation en compression défini selon le CPT 3802-P2, paragraphe 3.3.3 ou bien selon l'annexe K de la norme ÖNORM EN1995-1-1, qui est résumée au §2.9.4.5.

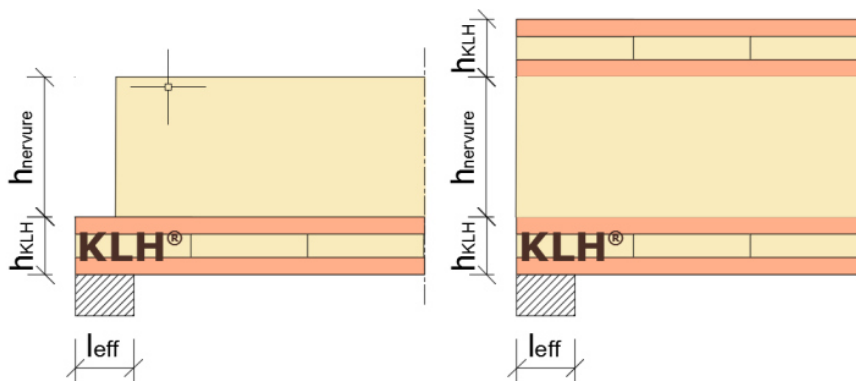


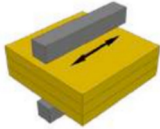
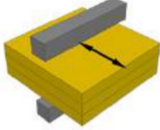
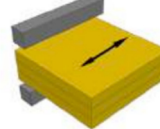
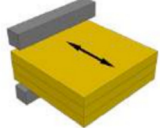
Figure 11 - Détail d'un élément KLH®-CLT nervuré ouvert inversé à gauche et caisson H avec appuis sur tablier KLH®-CLT à droite.

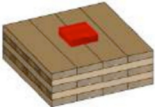


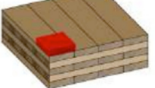
2.9.4.5. Facteur $k_{c,90}$ pour le panneau CLT

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

Pour les autres cas, il est possible de d'utiliser les travaux de l'institut de normalisation autrichien rassemblés dans l'annexe K de la norme ÖNORM EN1995-1-1. Des valeurs du facteur $k_{c,90,CLT}$ pour les situations de transmission d'efforts linéiques et ponctuels y sont données :

Situation de l'effort linéique	Valeur du facteur $k_{c,90,CLT}$
--------------------------------	----------------------------------

	Parallèle au sens du fil des plis extérieurs du panneau KLH pour un appui linéaire en travée	1.3
	Perpendiculaire au sens du fil des plis extérieurs du panneau KLH pour un appui linéaire en travée	1.8
	Parallèle au sens du fil des plis extérieurs du panneau KLH pour un appui linéaire en extrémité de panneau	1
	Perpendiculaire au sens du fil des plis extérieurs pour un appui linéaire en extrémité de panneau	1.5

Situation de l'effort ponctuel		Valeur du facteur $k_{c,90,CLT}$
	Centrale en considérant avec une distance de rive supérieure ou égal à l'épaisseur du panneau KLH	1.8
	En rive, parallèle au sens du fil des plis extérieurs du panneau KLH	1.5
	En rive, perpendiculaire au sens du fil des plis extérieurs du panneau KLH	1.5
	Dans un angle du panneau KLH	1.3

2.9.5. Vérifications ELS

Chaque élément de calcul doit être vérifié aux ELS avec les largeurs efficaces définies au paragraphe 7.11 du présent dossier technique.

Les vérifications prennent en compte les déformations sous charge permanente et charge variable ainsi que le fluage.

La flèche totale est alors déterminée selon l'expression suivante :

$$W_{\text{tot}} = W_m + W_v = \int \frac{M \times \bar{M}}{EI} dx + \int \frac{V \times \bar{V}}{GA} dx$$

w_m : déformation par flexion

w_v : déformation par cisaillement

w_{tot} : déformation totale

Pour une poutre KLH®-CLT sur 2 appuis, sous une charge uniformément répartie, l'expression de la flèche totale maximale devient :

$$W_{\text{tot}} = \frac{5 \times q \times l^4}{384 \times EI} + \frac{q \times l^2}{8 \times \kappa \times GA}$$

Pour le calcul de la flèche, les hypothèses de calcul sont les suivantes :

- les valeurs moyennes du module de Young E_{moyen} sont utilisées;
- La rigidité en flexion nette (EI) définie au paragraphe 7.22 qui est calculée en considérant l'orientation des plis croisés.

- La composante de la flèche due à l'effort tranchant doit être prise en compte à travers la rigidité de cisaillement $(GA)_{ef}$:

$$\begin{aligned}\kappa \times (GA) &= \kappa \times [(GA)_{KLH} \times b_{ef} + (GA)_{nervure}] \\ \kappa \times (GA) &= \kappa \times [GA_x b_{ef} + G_{mean,nervure} \times b_{nervure} \times h_{nervure}]\end{aligned}$$

Avec :

- GA_x rigidité de cisaillement du panneau KLH®-CLT ; valeur donnée dans le tableau 7 du dossier technique.
- $GA_{nervure}$ rigidité de cisaillement de la nervure. Pour les nervures en lamellé-collé, $G_{mean,nervure} = 650 \text{ N/mm}^2$
- Le coefficient de correction de cisaillement κ se détermine suivant l'expression suivante :

$$\kappa = \frac{1}{\frac{GA}{(EI)^2} \times \int_h \frac{[S(z) \times E(z)]^2}{G(z) \times b} dz}$$

Avec :

- $S_{(z)}$ 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.

Ou bien en utilisant l'expression simplifiée suivante :

$$\kappa = \frac{5}{6} - 0.25 \times \frac{\left(\frac{b_{ef}}{b_{nervure}}\right)^{0.7}}{\left(\frac{h_{nervure}}{h_{KLH}}\right)^{0.5}}$$

Les critères de flèche sont calculés conformément aux Eurocodes, leurs annexes nationales et les DTU en vigueur.

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.

Le "fléchissement actif" des planchers pouvant nuire à l'intégrité des cloisons maçonnées ou aux revêtements de sol fragiles comporte :

- Les déformations différées sous l'action du poids propre du plancher ;
- Les déformations totales dues aux charges permanentes mises en œuvre après les éléments fragiles ;
- Les déformations différées sous l'action de toutes les charges permanentes ;
- Les déformations totales dues à la part quasi permanente des charges d'exploitation.

En l'absence de revêtement de sol fragile et de cloisons fragiles, la flèche active est limitée par la norme, ou en l'absence d'autres précisions, aux valeurs suivantes :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{350} \text{ pour une portée } \leq 7.0m \\ 1 \text{ cm} + \frac{1}{700} \text{ pour une portée } > 7.0m \end{array} \right.$$

En présence de revêtement de sol fragile ou de cloisons fragiles, les prescriptions portant sur la limitation des flèches nuisibles du FD P18 717 sont adoptées, soit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{500} \text{ pour une portée } \leq 5.0m \\ 0,5 \text{ cm} + \frac{1}{1000} \text{ pour une portée } > 5.0m \end{array} \right.$$

Les critères de flèche active doivent être vérifiés en considérant les caractéristiques mécaniques à long terme des panneaux structuraux massifs bois.

La flexion du panneau KLH®-CLT dans sa direction transversale peut s'avérer nécessaire. Le panneau de KLH®-CLT est alors modélisé comme une poutre sur appuis multiples (les appuis étant les nervures) avec les propriétés mécaniques normales à la direction principale du panneau nervuré. Les limites de flèches sont les mêmes que celles définies ci-dessus.

Le critère vibratoire peut se vérifier suivant la méthode proposée au §3.3.6 du CPT « panneaux structuraux massifs bois ».

2.9.6. Dimensionnement des éléments KLH®-CLT nervurés sous charges horizontales (diaphragme)

Les planchers nervurés KLH®-CLT participent au contreventement global du bâtiment par leur fonction de diaphragme. Seul le tablier KLH®-CLT participe à cette fonction. Le fonctionnement en diaphragme des planchers assure la répartition des efforts horizontaux (vent, poussée des terres, séisme, etc...) entre les éléments de contreventement (voiles, portiques). Celui-ci se vérifiera selon les préconisations du e-cahier du CSTB n°3802 au §5.2.1.

En fonction des efforts à transmettre en cisaillement, les panneaux sont assemblés par mi-bois, par languettes rapportées, ou par vis lardées (voir figure 27). Le choix de la jonction et de sa dimension dépend de la conception du bâtiment et des efforts à transmettre.

2.9.7. Réservation dans les éléments KLH®-CLT nervurés

Aucun percement ou aucune réservation non prévus en conception n'est permis sur chantier. Toute réservation est à effectuer en atelier.

2.9.7.1. Perçage des nervures sans renforcement

Les percements dans les nervures sont à éviter. Mais lorsque cela est nécessaire, il est possible d'utiliser la méthode de l'annexe Eurocode 5 autrichienne développée ci-après. On entend par réservation des ouvertures avec une dimension apparente $d \geq h/10$ avec h la hauteur de la nervure ou $d \geq 80\text{mm}$. Pour des tailles de réservations d inférieures aux limites géométriques ci-avant, les vérifications ci-après ne sont pas à considérer.

Les réservations de toute taille sans renforcement sont conditionnées aux contraintes géométriques suivantes et doivent être arrondies avec un rayon minimum de 15mm :

$$L_A \geq 0.5 \times h$$

$$L_v \geq h$$

$$L_z \geq 1.5 \times h \text{ avec un minimum de } 300\text{mm}$$

$$a \leq 2.5h_d$$

$$h_{ro} \text{ et } h_{ru} \geq 0.35 \times h$$

$$h_d \leq 0.15 \times h$$

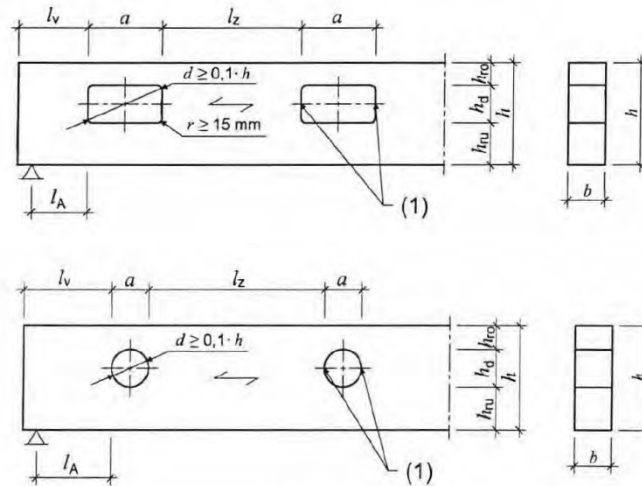


Figure 12 – Conditions géométriques des réservations dans les nervures

En plus des vérifications ci-après, la contrainte de flexion est à analyser.

Pour les réservations présentées ci-dessus dans le respect des dimensions mini et maxi, les contraintes suivantes sont à analyser :

- la contrainte de traction perpendiculaire aux fibres
- la contrainte de cisaillement

La contrainte de traction perpendiculaire aux extrémités des réservations doit remplir la condition suivante :

$$\sigma_{t,90,d} = \frac{F_{t,90,d}}{0.5 \times l_{t,90} \times b_{ef} \times k_{t,90}} \leq f_{t,90,d}$$

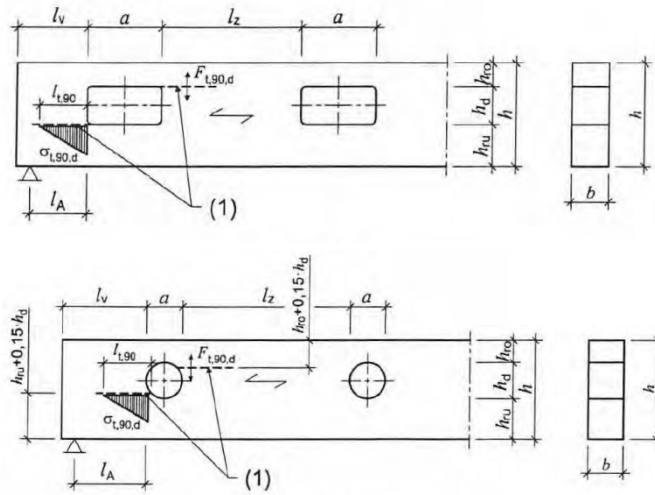
Avec :

- $\sigma_{t,90,d}$ est la valeur de calcul de la contrainte de traction perpendiculaire au fil en N/mm^2 .
- $F_{t,90,d}$ est la valeur de calcul de l'effort de traction perpendiculaire au fil en N.
- $l_{t,90}$ est la longueur de distribution de contrainte, en mm.
- $l_{t,90} = 0.5 \times (h_d + h)$ pour les réservations rectangulaires
- $l_{t,90} = 0.35 \times h_d + 0.5 \times h$ pour les réservations circulaires
- b_{ef} est la largeur efficace de la nervure ($b_{ef} = k_{cr} \times b$) en mm ; $k_{cr} = 0.67$

Sa valeur est prise égale à celle donnée dans la NF EN 1995-1-1.

- $f_{t,90,d}$ est la valeur de calcul de la résistance en traction perpendiculaire au fil en N/mm^2 .
- h est la hauteur de la nervure.

$$k_{t,90} = \min \left\{ \left(\frac{450}{h} \right)^{0.5} \right.$$



(1) fissure potentiel de rupture

Figure 13 – Contrainte de traction perpendiculaire aux extrémités des réservations

L'effort de traction perpendiculaire au fil se détermine comme suit :

$$F_{t,90,d} = F_{t,V,d} + F_{t,M,d}$$

Avec :

$$F_{t,V,d} = \frac{V_d \times h_d}{4 \times h} \times \left[3 - \left(\frac{h_d}{h} \right)^2 \right]$$

Et

$$F_{t,M,d} = 0.008 \times \frac{M_d}{h_r}$$

- $F_{t,V,d}$ Valeur de calcul de l'effort de traction perpendiculaire au fil résultant de l'effort de cisaillement V , en N.
- Pour le calcul de $F_{t,V,d}$ avec des réservations circulaires, on remplacera la valeur h_d par $0.7 \times h_d$.
- V_d Valeur de calcul de l'effort de cisaillement à l'extrémité de la réservation, en N.
- h_d Hauteur de la réservation, en mm.
- h Hauteur de la nervure, en mm.
- $F_{t,M,d}$ Valeur de calcul de l'effort de traction perpendiculaire au fil résultant du moment de flexion, en N.
- M_d Valeur de calcul du moment de flexion à l'extrémité de la réservation, en N.
- h_r Hauteur de calcul, en mm.

La hauteur de calcul h_r vaut :

- $h_r = \min \begin{cases} h_{ro} \\ h_{ru} \end{cases}$ pour les réservations rectangulaires
- $h_r = \min \begin{cases} h_{ro} + 0.15 \times h_d \\ h_{ru} + 0.15 \times h_d \end{cases}$ pour les réservations circulaires

La distribution de la contrainte de cisaillement dans la section de la nervure au niveau de la réservation doit être analysée de la manière suivante :

- Scinder la section en une section en T supérieure (au-dessus de l'ouverture) et une section rectangulaire inférieure en dessous de l'ouverture ;
- Calculer la rigidité en flexion EI de la section en T supérieure et de la section rectangulaire inférieure ;
- Répartir le cisaillement en fonction de la rigidité à la partie supérieure et inférieure de la section ;
- Calculer la distribution du cisaillement sur les deux sections partielles (au-dessus et en dessous du vide).

$$\tau_d = k_\tau \times \frac{1.5 \times V_d}{b_{ef} \times (h - h_d)} \leq f_{v,d}$$

$$k_\tau = 1.85 \times \left(1 + \frac{a}{h} \right) \times \left(\frac{h_d}{h} \right)^{0.2}$$

Avec :

- $\sigma_{t,90,d}$ est la valeur de calcul de la contrainte de traction perpendiculaire au fil en N/mm².
- τ_d est la valeur de calcul de la contrainte de cisaillement de la section supérieure ou de la section inférieure de l'ouverture en N/mm².
- k_τ est le coefficient à considérer pour la valeur maxi de la contrainte de cisaillement.
- V_d Valeur de calcul de l'effort de cisaillement à l'extrémité de la réservation, en N.
- EI_{eff} Rigidité efficace en flexion de la section supérieure/inférieure par rapport à la réservation.

- E_i Module d'élasticité de la section partielle.
- A_i Surface de la section partielle.
- e_i Excentricité (distance entre le centre de gravité de la section supérieure/inférieure par rapport à la réservation et au le centre de gravité de la section partielle).
- b_{ef} est la largeur efficace de la nervure ($b_{ef} = k_{cr} \times b$) en mm ; $k_{cr} = 0.67$
- h Hauteur de la nervure, en mm.
- h_d Hauteur de la réservation, en mm.
- a Longueur de la réservation en mm ; pour les réservations circulaires, on a $a = h_d$.
- $f_{v,d}$ est la valeur de calcul de la résistance en cisaillement de la nervure en N/mm².

Les contraintes de flexion aux extrémités des réservations doivent remplir les conditions suivantes :

$$\frac{\frac{M_d + M_{o,d}}{W_n + W_o}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \text{et} \quad \frac{\frac{M_d + M_{u,d}}{W_n + W_u}}{f_{m,d}} \leq 1$$

Avec :

- $M_{o,d} = \frac{A_o}{A_u + A_o} \times V_d \times \frac{a}{2}$ et $M_{u,d} = \frac{A_u}{A_u + A_o} \times V_d \times \frac{a}{2}$
- $A_o = b \times h_{ro}$ et $W_o = \frac{b \times h_{ro}^2}{6}$
- $A_u = b \times h_{ru}$ et $W_u = \frac{b \times h_{ru}^2}{6}$

M_d Valeur de calcul du moment de flexion à l'extrémité de la réservation, en N.mm

W_d Moment de résistance de la section nette de la nervure au niveau de la réservation, en mm³.

V_d Valeur de calcul de l'effort de cisaillement à l'extrémité de la réservation, en N.

$f_{m,d}$ est la valeur de calcul de la résistance en flexion de la nervure en N/mm².

h_{ro} et h_{ru} sont pris selon la figure 12.

Pour les vides circulaires, l'analyse de la contrainte de flexion utilisant la section utile du caisson nervuré (en tenant compte du vide), en appliquant la théorie des poutres, sera suffisante.

2.9.7.2. Perçage des nervures avec renforcement

Le renforcement des réservations est réalisé uniquement en usine avant le collage des nervures.

Le renforcement des réservations permet d'absorber les contraintes de traction transversales aux extrémités des réservations. Le renforcement peut être effectué par des vis à filetage total fileté ou par tiges filetées disposant d'une évaluation technique européenne.

Le renforcement pour l'effort de traction transversale $F_{t,90,d}$ peut être dimensionné selon l'équation $F_{t,90,d} = F_{t,v,d} + F_{t,m,d}$ décrite au paragraphe §2.9.7.1 si les réservations sont conçues selon la figure 12 dans le respect des dimensions minimales et maximales suivantes :

- $L_A \geq 0.5 \times h$
- $L_v \geq h$
- $L_z \geq h$ avec un minimum de 300mm
- $a \leq 2.5h_d$
- h_{ro} et $h_{ru} \geq 0.25 \times h$
- $h_d \leq 0.3 \times h$

La résistance à la traction perpendiculaire du bois n'est pas prise en compte.

La vérification des contraintes de cisaillement et de flexion aux extrémités des réservations est réalisée comme au paragraphe §7.51.

Dans le cas d'un renforcement avec des vis à filetage totale (selon la figure 14), il convient de vérifier le taux de travail en traction des vis :

$$n = \frac{F_{t,90,d}}{F_{ax,\alpha,Rd}} \leq 1$$

Avec :

- $F_{ax,\alpha,Rk}$ la résistance à la traction de la partie vissée de la vis en N/mm² conformément aux prescriptions de l'ETE respective de la vis utilisée

La longueur minimale de chaque vis est de $2l_{ad}$, avec l_{ad} ou l_{ef} étant la longueur efficace de filetage et le diamètre extérieur de filetage est limité à $d_r \leq 20\text{mm}$.

Les distances a_2 entre les vis doivent être au moins de $4d$.

Les distances aux extrémités $a_{3,c}$ et les distances aux bords $a_{4,c}$ des vis doivent être au moins de $2,5d$.

La contrainte de traction des vis doit être également vérifiée.

Le dimensionnement du renfort pas vis doit être vérifié des deux côtés de l'évidement.

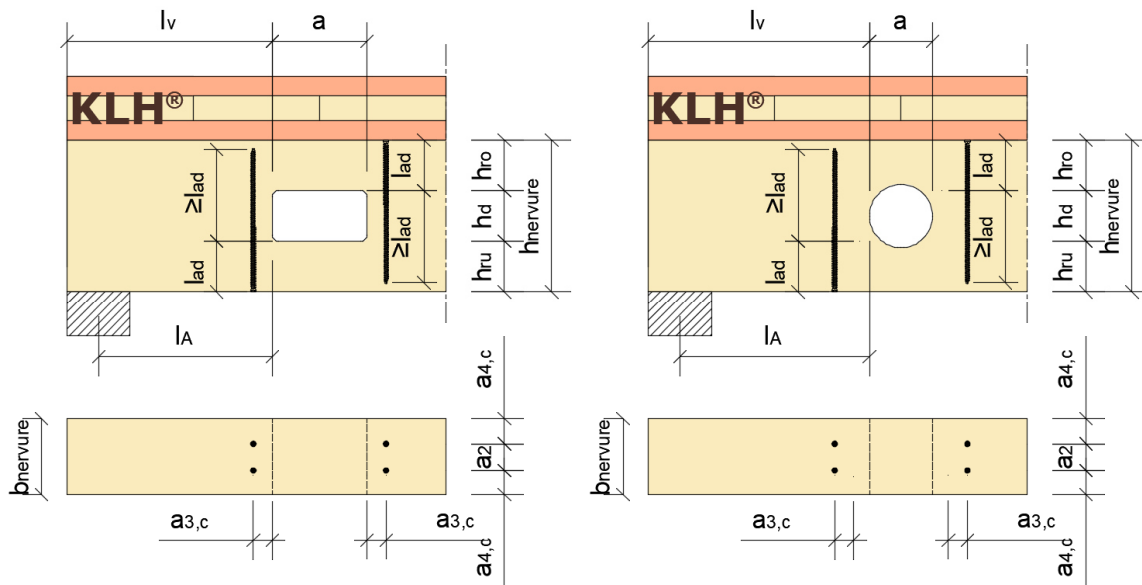


Figure 14 – Renforcement de réservations par vis à filetage total

2.9.7.3. Rainurage dans les panneaux de murs

Il est possible de réaliser des réservations si elles sont orientées dans le sens de la portée.

2.9.8. Vérification des éléments KLH®-CLT nervurés avec trémis

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.3.7.2 s'appliquent.

2.10. Dimensionnement des éléments KLH®-CLT nervurés utilisés en tant que porteurs verticaux avec nervures placées du côté extérieur au panneau KLH®-CLT

2.10.1. Reprise des charges perpendiculaires à la surface des éléments KLH®-CLT nervurés

Pour la reprise des charges perpendiculaires à la surface des éléments nervurés KLH®-CLT (actions principalement dues au vent de façade), on vérifiera la résistance en flexion et au cisaillement comme au paragraphe 2.8.1.2 et 2.8.1.4 en utilisant les propriétés de section décrite au paragraphe 7.2.

2.10.2. Reprise des charges verticales parallèle à la surface des éléments KLH®-CLT nervurés T

Les contraintes normales dues à l'effet des charges verticales sont calculées à partir de l'inertie nette (A_{net} et I_{net}) de l'élément KLH®-CLT nervuré (section de la nervure + plis verticaux du panneau KLH®-CLT).

Les nervures peuvent être utilisées uniquement comme anti-flambement lorsque celles-ci sont en retrait du tablier KLH®-CLT ou lorsqu'elles ne sont pas en contact avec les appuis du tablier KLH®-CLT.

Les plis du panneau KLH®-CLT orientés perpendiculairement à ces charges ne sont pas considérés.

Lorsque les murs sont munis d'ouvertures, on veillera à prendre en compte la bande de chargement adaptée.

Pour les chargements dissymétriques, la charge verticale est considérée comme excentrée de 1/6 de l'épaisseur du panneau.

Pour les charges concentrées, la largeur efficace formant poteau peut se déterminer en considérant une distribution de charge suivant la méthode décrite au §4.3.7 du e-cahier du CSTB n°3802.

Le calcul des efforts de compression et de flexion combinés doit être mené selon le §4.3.3.2 du e-cahier du CSTB n°3802.

Si la vérification de la stabilité est justifiée ou pour un calcul selon la théorie du second ordre, on utilisera le rayon de giration efficace i_{ef} équivalent :

$$i_{ef} = \sqrt{\frac{EI}{(EA)_{net}}}$$

2.10.2.1. Vérification des Linteaux

La vérification des linteaux est réalisée conformément aux préconisations du e-cahier du CSTB n°3802 décrites au §4.3.6. Pour les linteaux ou murs sollicités en flexion dans leur plan avec un élancement $L/h \geq 4$, la vérification se ramène à de la flexion à chant en considérant les plis horizontaux comme une section homogène en bois massif et en faisant abstraction des plis verticaux. Par exemple, pour un panneau 3 plis type Q, la section porteuse se limite au pli central. Pour un panneau 5 plis type Q, on prendra la somme des plis horizontaux 2 et 4.

$$\sigma_{m(z)_d} = \frac{M_{Ed}}{W_{net,x \text{ ou } y}} \leq k_{sys} \times f_{m,0,d}$$

$$W_{\text{net},x} = \frac{\sum t_{i,x} \times h_x^2}{6} \text{ et } W_{\text{net},y} = \frac{\sum t_{i,y} \times h_y^2}{6}$$

Lorsque la section du Linteau KLH®-CLT constitué par les plis horizontaux, n'est pas suffisante, un renfort métallique ou un linteau rapporté en lamellé-collé ou métallique peut se dimensionner.

Le critère de flèche limite W_{fin} à considérer pour les linteaux est le $L/500$ sans dépasser 10mm conformément au DTU 31.2.

2.10.3. Reprise des charges verticales parallèle à la surface des éléments KLH®-CLT nervurés M (avec muralière)

2.10.3.1. Définition des murs KLH®-CLT nervurés M

Un élément KLH®-CLT nervurés M est un mur KLH de type Q sur lequel on vient rapporter une poutre en bois lamellé-collé appelé muralière par collage de bloc à l'aide d'une colle résorcine à joint épais. La présence de la muralière collée permet de limiter le tassement global des bâtiments à multi-étage en panneaux CLT en supprimant le poinçonnement des planchers KLH®-CLT et le phénomène de tassement par retrait gonflement.

2.10.3.2. Fonctionnement mécanique des murs KLH®-CLT nervurés M

La muralière permet de transmettre les efforts issus du plancher KLH au mur KLH qui assure la descente de charge et le contreventement vertical.

Elle est donc conçue (voir figure 15) pour ne transmettre que des efforts de cisaillement au mur KLH®-CLT issus :

- De la charge verticale du plancher KLH®-CLT ou du plancher nervuré KLH®-CL ;
- Des efforts horizontaux dans le plan de la muralière issus du diaphragme de plancher.

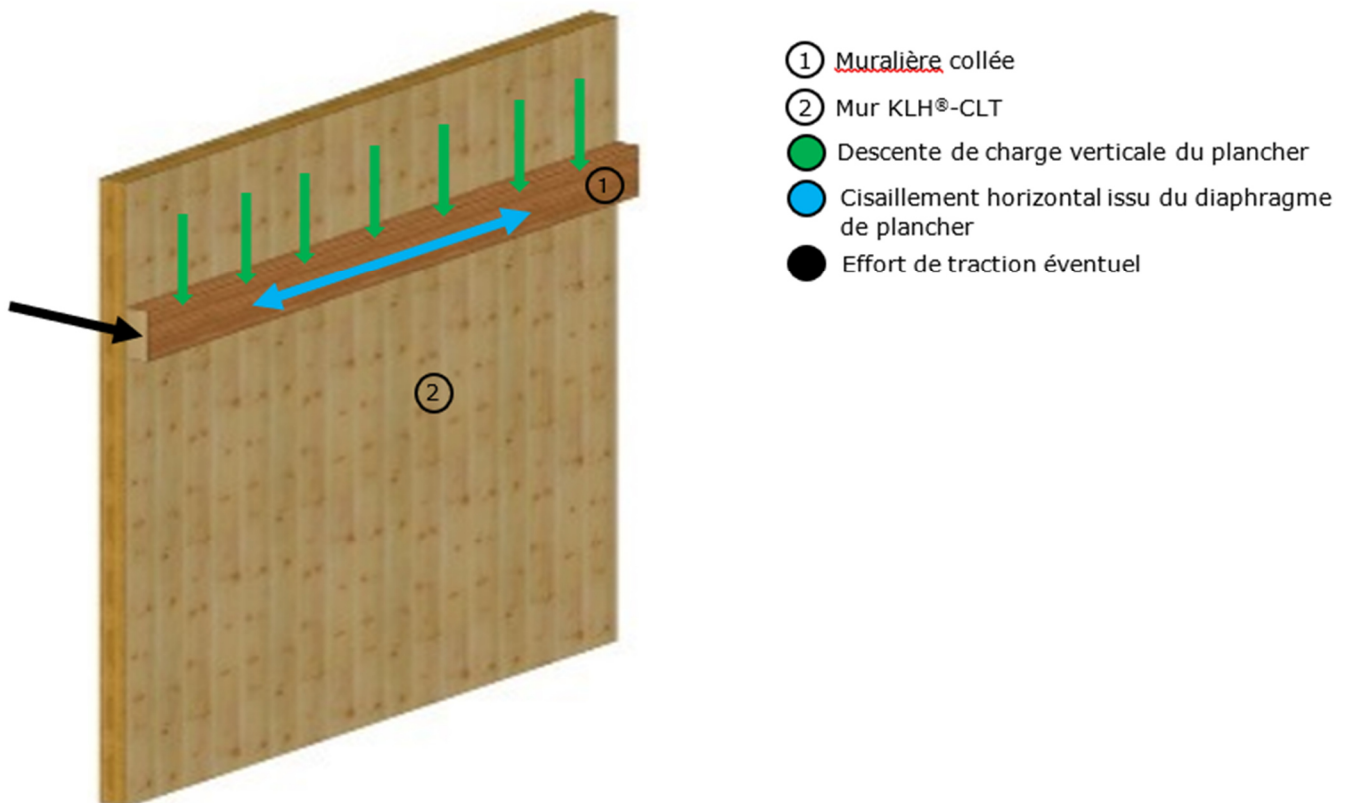
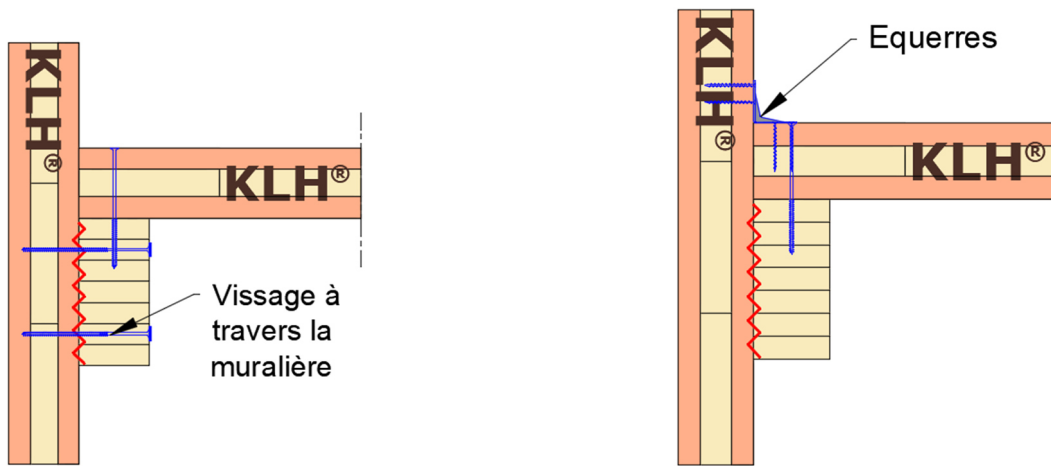


Figure 15 - Efforts repris par la muralière

La muralière n'est pas conçue pour reprendre des efforts de traction perpendiculaire, au même titre que le mur KLH. En cas de présence éventuel d'un effort de traction (tirant-buton) issu du diaphragme (voir figure 15), celui-ci devra être repris et justifié par l'une des dispositions constructives proposées :



A- Par des vis de fixation au travers de la muralière

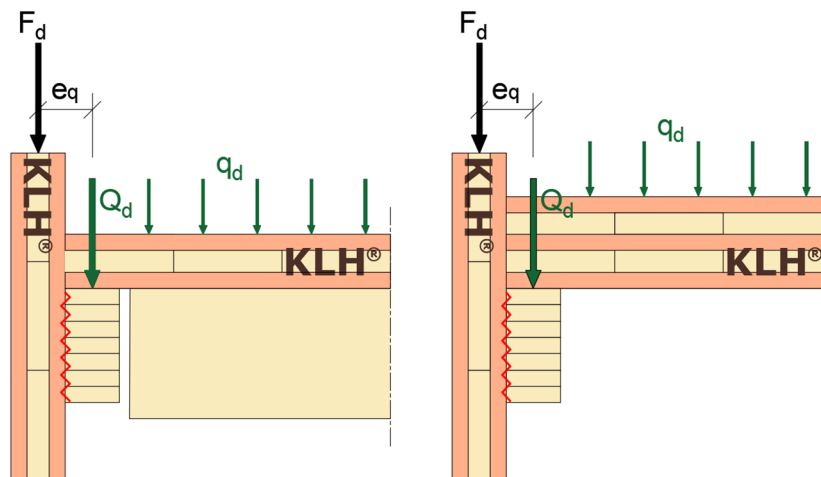
B- Par des équerres de fixation liaisonnant le plancher au mur KLH

Figure 16 - Dispositif de reprise d'effort de traction éventuel issu du diaphragme de plancher

Les vis de fixation dédiées à la reprise de la traction perpendiculaire doivent faire l'objet d'un marquage CE ou d'une ETE et sont à dimensionner en traction selon les prescriptions du §8 de la norme NF EN1995-1-1.

2.10.3.3. Excentricité supplémentaire

Les contraintes normales dues à l'effet des charges verticales sont calculées à partir de l'inertie nette (A_{net} et I_{net}) du panneau KLH®-CLT seul qui ne prend en compte uniquement les plis verticaux du panneau.

**Figure 17 - Schéma statique avec représentation de l'excentricité provenant des charges du plancher q_d .**

Pour les murs extérieurs de façade, une excentricité supplémentaire e_q est à prendre en compte du fait que la pose du plancher est mise en œuvre entre mur KLH®-CLT. Cette excentricité génère un moment supplémentaire à vérifier en plus des actions dues au vent de façade.

2.10.3.4. Vérification de la résistance au cisaillement du joint de collage de la muralière

Les valeurs des contraintes de cisaillement induit par l'effet de toutes les charges verticales et horizontales doivent satisfaire les conditions suivantes :

$$\tau_{(z)_d} = \frac{V_{Ed,max}}{A} \leq f_{Rv,d}$$

Avec :

- $V_{Ed,max}$ Effort tranchant maxi par mètre linéaire en N/m se détermine selon la combinaison dimensionnante provenant soit des charges descendantes soit des charges sismiques horizontales et verticales. Lorsque la combinaison sismique est dimensionnante, l'effort de cisaillement résultant sera calculé d'après la racine carré de l'effort sismique horizontal et de l'effort sismique vertical.
- A Section de collage entre le voile CLT et la muralière ($A = 1000 \times h_{muralière}$) par mètre linéaire en mm^2 en considérant un coefficient de sécurité de 30%.
- $f_{Rv,d}$ est la valeur de calcul de la résistance de cisaillement du joint de colle selon l'EN14080 :2013.

La valeur caractéristique $f_{Rv,k} = 1.2 \text{ N/mm}^2$ pour les muralières en bois lamellés collés. Elle est réduite à 1 N/mm^2 dans le cas d'utilisation de bois massifs rabotés BMR selon l'EN14080 :2013.

2.10.3.5. Vérification de la résistance en traction perpendiculaire du joint de collage de la muralière

L'excentricité e_q des charges verticales (figure 12) induit un effort de traction perpendiculaire $F_{t,90,d}$. Même si le joint de collage de la muralière M possède des propriétés pour reprendre en partie de cet effort, il est préférable de reprendre par vissage l'effort $F_{t,90,d}$ soit en utilisant la densité de vissage assurant la pression de collage, soit par des vis dédiées à filetage totale. L'excentricité à prendre en compte pour cette vérification sera limitée à la demi-épaisseur de la muralière en appliquant l'équation suivante :

$$F_{t,90,d} = \frac{V_{Ed,max} \times (0.5 \times b_{muralière})}{\left(\frac{2}{3} \times b \times h_{muralière}\right) \times n_{vis}} \leq F_{ax,Rd}$$

Avec :

- $V_{Ed,max}$ Effort tranchant maxi par mètre linéaire en N/m
- $h_{muralière}$ est la hauteur de la muralière en mm.
- $b_{muralière}$ est l'épaisseur de la muralière en mm.
- b est la longueur d'appui de la nervure par mètre linéaire ($b = 1000\text{mm}$).
- n_{vis} est le nombre de vis par mètre linéaire.
- $F_{ax,Rd}$ est la valeur de calcul de la résistance à l'arrachement de la tête de la vis (vis à tête large) ou de la partie filetée (vis à filetage totale)

2.10.4. Reprise des charges horizontales dans le plan des éléments KLH®-CLT nervurés T, muralière M : Contreventement

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

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

Seuls le panneau KLH®-CLT contribue au contreventement. Les nervures ne participent pas.

2.10.4.1. Contribution au contreventement de la structure

Les éléments KLH®-CLT nervurés comportant ou non des ouvertures, utilisés en paroi verticale peuvent servir au contreventement du bâtiment dans lequel ils sont utilisés. Ils sont alors sollicités dans leur plan par des efforts horizontaux qui doivent être transmis jusqu'aux fondations de l'ouvrage. Les vérifications sont menées suivant le §4.3.4 du e-cahier du CSTB n°3802. Seuls le panneau KLH®-CLT contribue au contreventement. Les nervures ne participent pas.

Les éléments KLH®-CLT nervurés peuvent être considérés de deux manières différentes :

- Soit comme une succession de panneaux nervurés isolés les uns des autres :
 - Il est alors nécessaire de justifier leur tenue et celle de leurs ancrages en les considérant comme libres en tête et encastres en pied.
 - Ceci n'est applicable que si les éléments KLH®-CLT nervurés sont fixés mécaniquement en pied et d'une largeur supérieure à 0,60 m.
 - Lorsque des éléments KLH®-CLT nervurés 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.
- Soit de considérer les liaisons entre panneaux :
 - Il est alors nécessaire de justifier la tenue des panneaux et celles de leurs ancrages d'une part, et
 - De justifier la transmission des efforts de glissement entre panneaux d'autre part.

Il convient de vérifier :

- La capacité résistante au cisaillement des panneaux KLH®-CLT constituant le mur nervuré KLH®-CLT soumis à une poussée horizontale dans leur plan qui mobilise aussi bien les plis longitudinaux que les plis transversaux.
- Les ancrages qui reprennent les efforts de soulèvement générés par les charges horizontales (modèle de rotation rigide suivant NF EN 1995-1-1 Méthode A).
- Les assemblages entre panneaux nervurés adjacents dans un même plan lorsque cette liaison est considérée
- Les assemblages entre éléments KLH®-CLT nervurés sont décrits au paragraphe 2.12 de ce Dossier Technique.

2.10.4.2. Vérification de la résistance au cisaillement des panneaux KLH®-CLT constituant l'élément KLH®-CLT nervuré

Pour la vérification de la résistance au cisaillement des panneaux, il est possible de contrôler la résistance au cisaillement selon la méthode des trois modes de rupture théoriques présentés au §4.3.4.2 du e-cahier du CSTB n°3802. Cependant, la largeur des planches ne pouvant être connue dans la réalité, il est préférable de mener les vérifications suivantes :

- Cas 1 : Flux de cisaillement transitant dans les surfaces de collages entre planches – sens porteur non défini

Généralement, les panneaux sollicités à chant doivent reprendre le cisaillement qui transite par les surfaces de contact entre les différentes couches. C'est pourquoi, on vérifiera un flux de cisaillement $t_{v,d}$ en N/mm exercé dans le panneau indépendamment du sens de l'effort aux niveaux des joints de colles :

$$t_{v,d} = \frac{n_{x,y}}{L_k} = \frac{n_{x,y}}{n_k \times h} \leq f_{v,\text{joint de colle,d}}$$

Avec :

n_{xy} Effort de cisaillement total par unité de longueur résultant d'un programme aux éléments finis en N.

L_k Longueur totale des joints de colle dans les couches croisées du panneau

n_k Nombre de joint de colle du panneau considéré

h Hauteur du panneau ; normalement h est pris égal à 1m.

$f_{v, \text{joint de colle}, k}$ Flux de cisaillement caractéristique du joint de collage fixé à 90N/mm.

- Cas 2 : Contrainte de cisaillement avec sens porteur défini avec rapport $L/h < 4$

Pour les murs dont le sens porteur est « clairement défini », et avec un rapport $L/h < 4$, la contrainte de cisaillement dans les joints de colle n'est plus à calculer. Par contre, on vérifiera la contrainte cisaillement qui dépend de l'épaisseur du ou des plis considérés comme travaillant. Un sens porteur est défini, lorsque les couches de planches orientées perpendiculairement au sens porteur, ne participent que très peu à la reprise d'efforts. La section cisailée et porteuse reprenant le cisaillement est constituée uniquement des plis perpendiculaires à l'effort. C'est le cas par exemple les linteaux restants au-dessus des portes ou fenêtres.

$$\tau_{v,d} = \frac{V_{Ed}}{A_{\text{net},x \text{ ou } y}} \leq f_{v,d}$$

$f_{v,k} = 8,2 \text{ N/mm}^2$ pour les plis de 20mm.

$f_{v,k} = 6,2 \text{ N/mm}^2$ pour les plis en 30mm

$f_{v,k} = 4,6 \text{ N/mm}^2$ pour les plis en 40mm

$f_{v,k} = 3,9 \text{ N/mm}^2$ pour les plis en 45mm

Ces valeurs caractéristiques de cisaillement sont valables avec une évolution parabolique de la contrainte. Pour une répartition de contrainte rectangulaire, ces valeurs sont à réduire de 1.5.

Lorsque ce sont des plis internes qui sont utilisés pour justifier la reprise du cisaillement, les valeurs caractéristiques ci-dessus peuvent être augmentés de 25%, se justifiant par la présence des plis extérieurs, contribuant à améliorer la reprise du cisaillement.

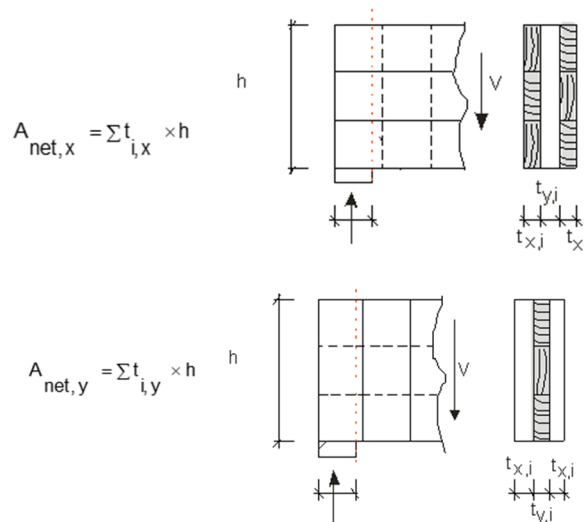


Figure 18 - définition de la section nette pour la vérification de la contrainte de cisaillement $\tau_{v,d}$ en voiles

2.10.5. Vérification des déformations

2.10.5.1. Déformation du mur KLH®-CLT nervuré sous charge horizontale perpendiculaire

Les critères de tolérance de flèche des parements extérieur / intérieur doivent être considérés. En l'absence de critères particuliers, les limitations données dans la NF EN 1995-1 et de la NF EN 1998-1 s'appliquent.

2.10.5.2. Déformation du linteau du mur KLH®-CLT nervuré

Le linteau est modélisé comme une poutre sur deux appuis et est vérifié conformément à la NF EN 1995-1-1. Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.6 s'appliquent en vérifiant une flèche (w_{fin}) n'excédant pas le 1/500^{ème} de la portée.

2.10.5.3. Déformation horizontale dans le plan du mur KLH®-CLT nervuré

La vérification des déformations s'effectue en tenant compte des rigidités de panneaux KLH®-CLT décrites au tableau 7 du dossier technique, ainsi que des jeux et raideurs d'assemblages, conformément aux règles décrites dans la NF EN 1995-1-1.

2.10.6. Rainurage dans les panneaux de murs

Lorsque les plis des couches extérieures sont verticaux, les réservations peuvent être réalisées ponctuellement dans le sens vertical afin de ne pas réduire la résistance mécanique du panneau, mais en aucun cas horizontalement.

Lorsque les plis des couches extérieures sont horizontaux, les réservations dans ces couches sont possibles sans restriction de direction seulement si ces plis horizontaux ne sont pas travaillants.

2.11. Dimensionnement des éléments K LH®-CLT nervuré au séisme et au feu

2.11.1. Dimensionnement au séisme

Si les éléments K LH®-CLT nervurés se trouvent dans une zone à risque sismique nécessitant une évaluation de la performance sous sollicitations sismiques, il convient alors d'appliquer les règles spécifiques à la NF EN 1998-1 et son annexe nationale.

2.11.1.1. Principes généraux

La justification en zone sismique des structures assemblées par éléments K LH®-CLT nervurés doit être menée en suivant le principe de comportement de structure soit dissipatif (Classe de ductilité M) soit faiblement dissipatif (classe de ductilité L) conformément à la norme NF EN 1998-1-1 (cf. § 8.1.3 et § 8.6 (2)P).

Les effets des actions sont calculés sur la base d'une analyse élastique linéaire suivant 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. Les assemblages par collage ne sont pas à considérer comme des zones dissipatives au sens de la NF EN 1998-1-1 (§8.2). Le spectre de calcul est déterminé en appliquant un coefficient de comportement ne pouvant excéder $q=2,0$ en DCM et $q=1,5$ en DCL.

Les principes de vérification sont détaillés au §5.3.1 du e-cahier du CSTB n°3802. La justification en zone sismique des structures composées de panneaux K LH®-CLT nervuré M doit être menée uniquement en suivant le principe de comportement faiblement dissipatif.

2.11.2. Dimensionnement au feu

La méthode de vérification des éléments K LH®-CLT nervurés s'appuie sur la NF EN 1995-1-2 pour le calcul des nervures et sur l'avis de laboratoire N° AL 20-291 du 03/02/2022 pour le calcul du panneau K LH®-CLT.

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

2.12. Mise en œuvre

2.12.1. Dispositions générales relatives aux assemblages

2.12.1.1. Règles générales de dimensionnement des assemblages

Lorsque les éléments K LH®-CLT nervurés sont utilisés pour la réalisation de bâtiments entrant dans le domaine d'application du DTU 31.2, c'est à dire d'une manière générale pour les bâtiments dont la structure principale porteuse est en bois, les dispositions non spécifiquement visées dans le cadre du présent document doivent être conformes aux prescriptions de la NF DTU 31.2 pour la conception, et aux prescriptions des sections 7.1 et 8 de l'Eurocode 5 en tenant compte des dispositions supplémentaires citées ci-après pour le calcul.

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

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

La valeur de masse volumique caractéristique des éléments K LH®-CLT nervurés à prendre en compte pour le dimensionnement des assemblages est mentionnée au paragraphe 2.5.1.1.

Les moyens d'assemblage les plus courants pour les éléments K LH®-CLT nervurés sont les vis à bois et les pointes annelées ou torsadées.

Les organes de fixation utilisés pour l'assemblage des panneaux K LH®-CLT entre eux ou avec d'autres éléments de structure doivent être choisis selon les prescriptions du e-cahier du CSTB n°3802.

Il convient de différencier les chants des faces, qui présentent des comportements différents face aux assemblages. Pour les justifications d'après la NF EN 1995-1-1, il y a lieu de considérer les réductions suivantes :

- Sur le chant des panneaux, la portance locale du bois (vis sollicitées perpendiculairement à leurs axes) doit être diminuée de 50 % par rapport à un assemblage sur la face des panneaux.
- Sur le chant des panneaux, la capacité résistante de vis sollicitées axialement $R_{ax,k}$ doit être diminué de 25 % par rapport à un assemblage sur la face des panneaux. Les pointes ne sont pas admises sur le chant des panneaux. Seules les pointes non lisses ou les vis peuvent reprendre des efforts de traction.

Pour les catégories d'usage C4, C5, D1, D2, E1 :

- La capacité de l'assemblage entre panneaux adjacents vis-à-vis de la charge concentrée de la catégorie d'usage visée devra être justifié ;
- La distance entre les organes d'assemblage doit être de 30 cm maximum ;
- Le pianotage entre panneaux K LH®-CLT est limité à la déformation acceptée par les éléments d'équipement supportés ;

Lorsque la charge concentrée correspond à une charge long terme au sens de la norme NF EN 1995-1-1/NA, il y a lieu de considérer la concomitance de cette charge avec les efforts de contreventement.

Pour la réalisation des planchers nervurés en catégorie d'usage E1 au sens de la norme NF EN 1991-1-1, le procédé est limité à la reprise de charges à caractère statique ou quasi-statique.

Pour la catégorie d'usage E1, trois types d'assemblage sont acceptés :

- Assemblage mi-bois avec vis anti-fendage ;
- Assemblage avec vis lardées ;
- Assemblage avec languette et vis lardées.

2.12.1.1.1. Détails aux appuis des éléments KLH®-CLT nervurés utilisés en plancher

La conception des assemblages doit prendre en compte trois types de sollicitation : efforts descendants (charges permanentes, d'exploitation, de neige, de vent en surpression...), efforts de soulèvement (vent de dépression...) et efforts horizontaux (efforts de contreventement, charges sismiques...).

Les efforts descendants sont pour la plupart du temps repris par contact et doivent donc satisfaire aux exigences du §6.2 du présent document technique. Les efforts de soulèvement et horizontaux sont repris par des assemblages qui doivent être vérifiés aux Eurocodes.

Etant donné que le joint de colle entre le tablier KLH®-CLT et la nervure n'a pas été testé sous charge cyclique, le transfert de cisaillement du diaphragme de plancher aux murs se fera de manière à transiter les efforts du tablier KLH®-CLT au mur directement.

Les éléments KLH®-CLT nervurés utilisés en plancher ou support de toiture ou support de couverture peuvent reposer sur un support bois (Murs KLH®-CLT, poutre LC, murs MOB), sur un support métallique ou sur un support béton.

Les éléments KLH®-CLT nervurés doivent être fixés mécaniquement au support à chaque appui au moyen d'organes par vissage de type Spax, SFS ou équivalents complétés ou non de connecteurs métalliques selon la situation.

Il existe deux modes d'appuis principaux des planchers KLH®-CLT nervurés :

- Appuis simples : dans ce cas la nervure est appuyée sur le support. Elle doit être fixée mécaniquement au support au moyen d'organes de fixation ou connecteurs métalliques.
- Appuis par le panneau de KLH®-CLT : dans ce cas le panneau KLH®-CLT est plus long que les nervures. Ce type d'assemblage peut nécessiter la mise en place de vis de frettage à filetage total ou à double filetage.

Les principaux types de supports sont présentés ci-après :

a- Les appuis sur connecteur métallique Détails d'appuis usuels avec nervures supportées

Chaque nervure est supportée individuellement par un connecteur métallique de type sabot, étrier en âme, connecteur type Ricon®. ferrure Z.

Pour les utilisations en zone sismique, le tablier en panneau KLH®-CLT doit être fixé mécaniquement au support à l'aide d'organes de fixation de type vis, ou bien par l'intermédiaire d'équerres, de cornières, ou autres profils métalliques.

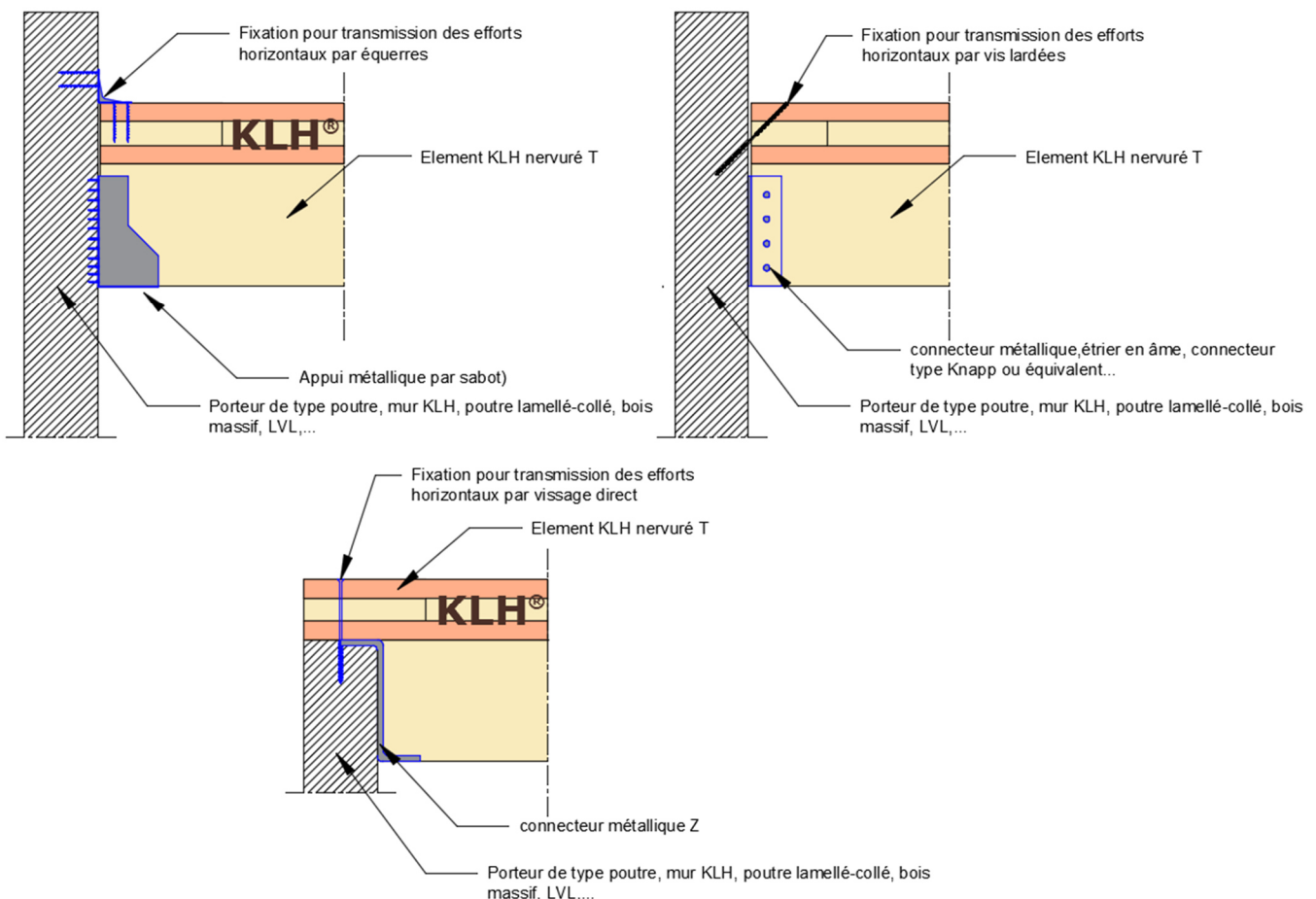


Figure 19 - Détails d'appuis usuels avec nervures supportées individuellement par connecteur métallique

b- Les appuis sur support bois

Les supports bois visés sont les murs KLH®-CLT, les murs ossature bois, les poutres en bois massifs, en bois lamellé-collé, en LVL,...). Les planchers sont fixés à l'aide d'organes de fixation métallique, ou bien par l'intermédiaire de connecteurs métalliques. Les figures suivantes présentent les principales configurations d'appui sur support bois dans le cas des éléments KLH®-CLT nervurés T.

Pour les utilisations en zone sismique, le tablier en panneau KLH®-CLT doit être fixé mécaniquement au support à l'aide d'organes de fixation de type vis, ou bien par l'intermédiaire d'équerres, de cornières, ou autres profils métalliques.

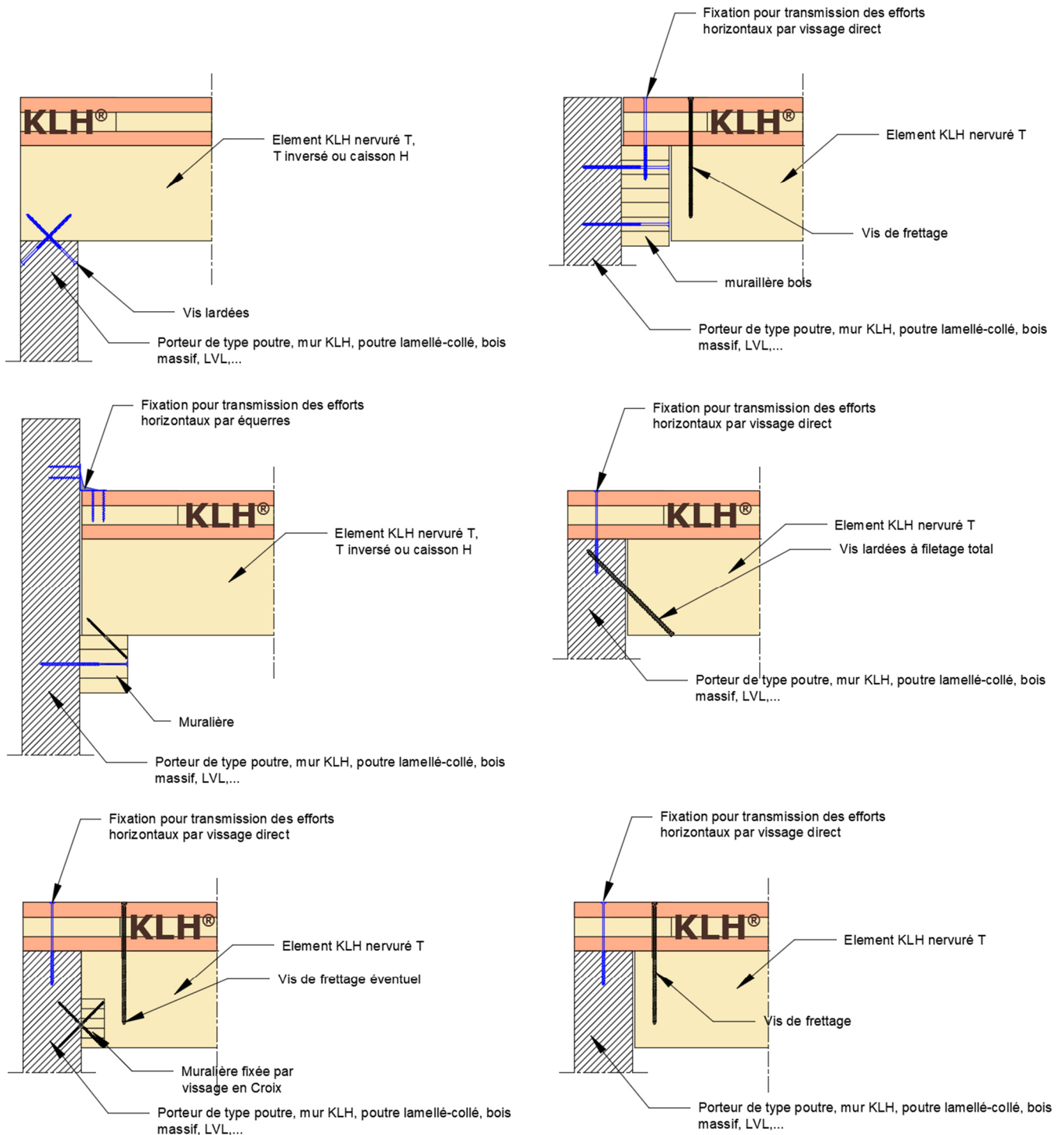


Figure 20 - Détails d'appuis usuels sur porteur bois (murs KLH®-CLT, mur à ossature bois, poutre bois en bois massif, en bois lamellé-collé, LVL...)

c- Les appuis sur support métallique

Lorsque l'appui est assuré par des cornières ou poutres métalliques, les planchers KLH®-CLT nervurés sont fixés mécaniquement au support métallique à l'aide de d'organes de fixation.

Pour les utilisations en zone sismique, le tablier en panneau KLH®-CLT doit être fixés mécaniquement au support à l'aide d'organes de fixation de type vis, ou bien par l'intermédiaire d'équerres, de cornières, ou autres profils métalliques.

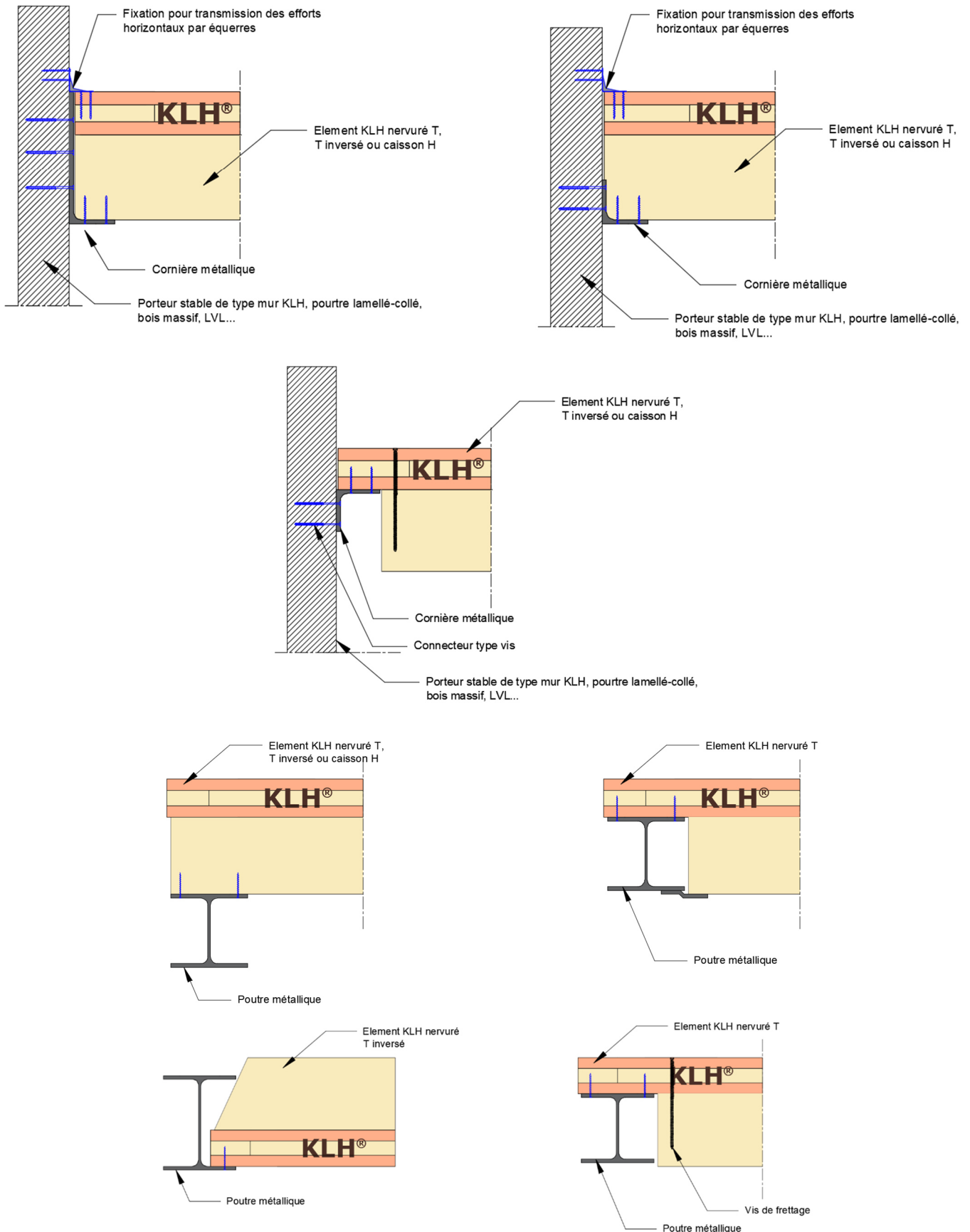


Figure 21 - Détails d'appuis usuels sur poutres métalliques

d- Les appuis sur support béton

La fixation sur support béton s'effectue à l'aide de connecteurs, de cornières métalliques, ou de muralières fixés aux plancher KLH®-CLT au moyen d'organes de fixation, et l'ancrage au support béton est réalisé par des vis d'ancrage bénéficiant d'une ETE selon l'ETAG 001. L'interposition d'une lisse d'appui en bois ou en dérivé du bois peut s'avérer nécessaire, complétée d'une barrière d'étanchéité protégeant des remontées capillaires. La lisse d'appui sera conforme au NF DTU31.2.

Pour les utilisations en zone sismique, le tablier en panneau KLH®-CLT doit être fixé mécaniquement au support à l'aide d'organes de fixation de type vis, ou bien par l'intermédiaire d'équerres, de cornières, ou autres profils métalliques.

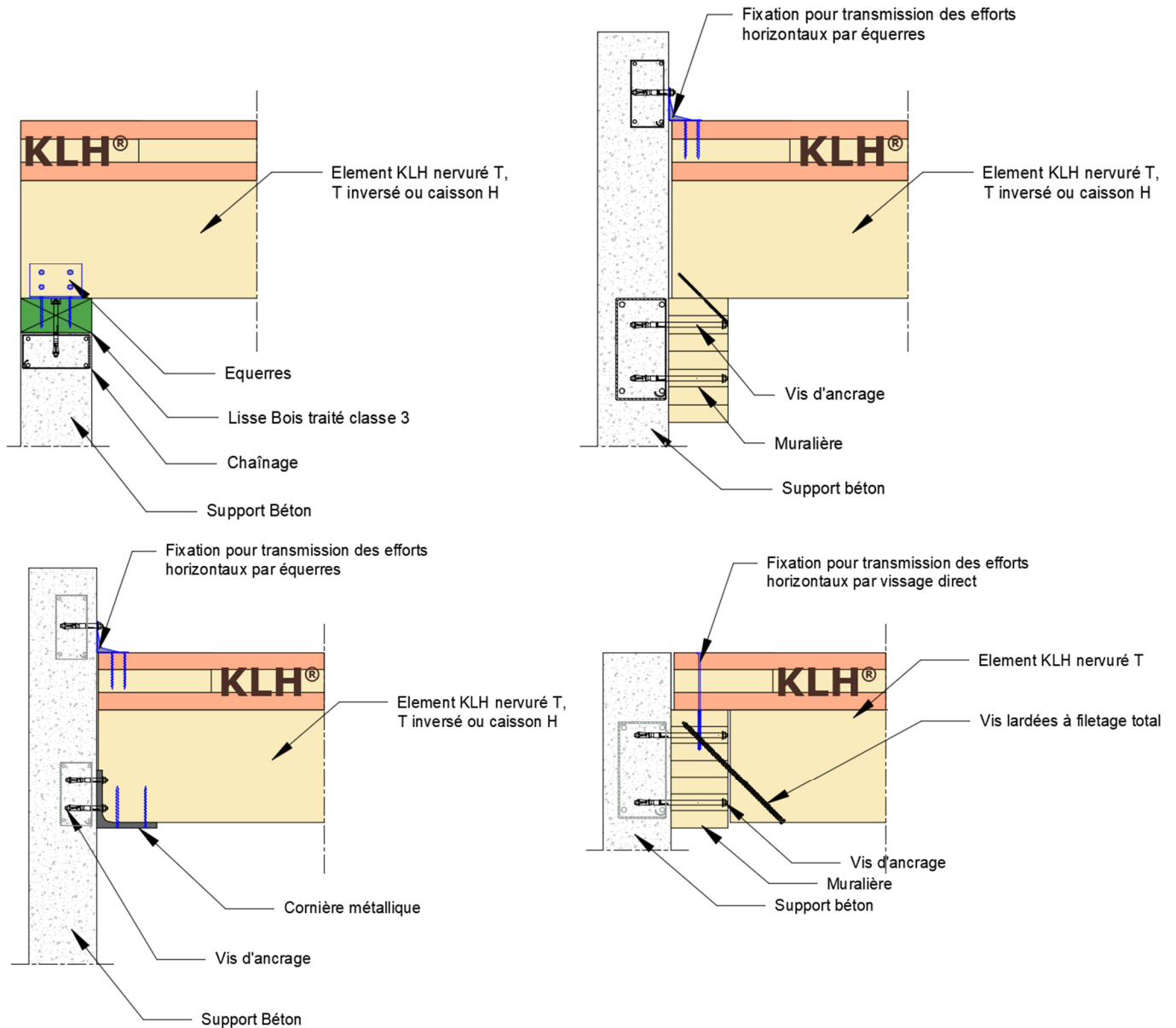


Figure 22 - Détails d'appuis usuels sur support béton

e- Les appuis sur les murs KLH®-CLT nervurés M (nervures collées structurellement)

Les planchers KLH ou planchers nervurés reposent physiquement sur la muralière et sont fixés à l'aide d'organe de fixation.

En cas d'effort éventuel de traction agissant perpendiculairement au joint de collage, des dispositions constructives complémentaires sont présentées au §2.10.3.1

Pour les utilisations en zone sismique, le tablier en panneau KLH®-CLT doit être fixé mécaniquement au support à l'aide d'organes de fixation de type vis, ou bien par l'intermédiaire d'équerres, de cornières, ou autres profils métalliques.

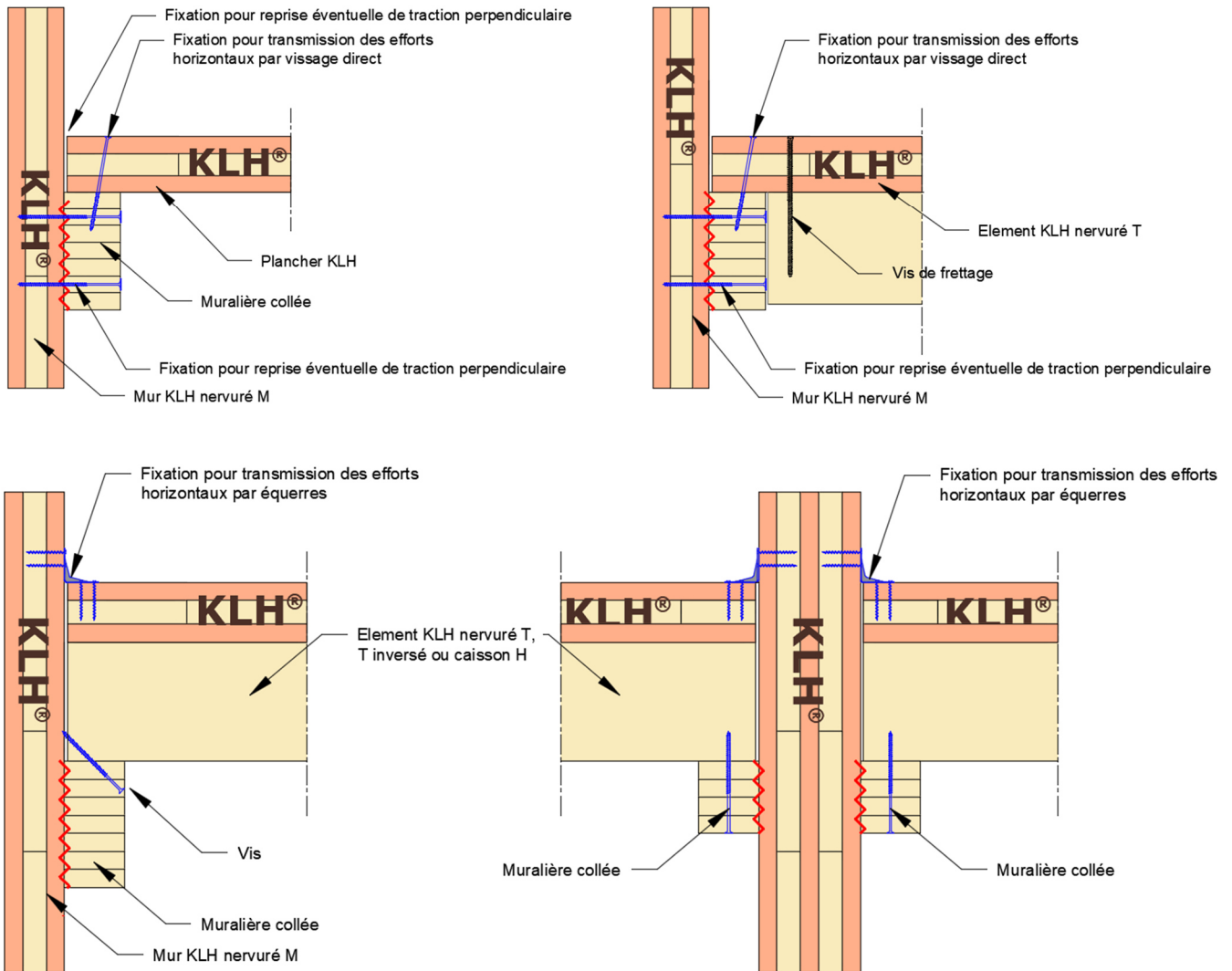


Figure 23 - Détails d'appuis usuels sur Mur KLH®-CLT nervuré M (muralière collée structurellement)

2.12.1.1.2. Détails aux appuis des éléments KLH®-CLT nervurés utilisés en mur

Au niveau d'un support béton, la liaison des éléments KLH®-CLT nervurés est assurée par des connecteurs métalliques, fixés aux panneaux KLH®-CLT au moyen d'organes de fixation et ancrés au support béton par des chevilles de fixation qui doivent bénéficier d'un ATE ou d'une ETE ou par pré-scellements.

Une barrière d'étanchéité conforme au paragraphe 6.1 du DTU 31.2 partie 1-2 (CGM) protégeant des remontées capillaires et complétée d'un ou plusieurs joints de type « Compriband, » ou équivalent est à prévoir. Le cas échéant, un calage métallique, bois dur ou plastique peut être interposé si nécessaire. Il est possible de poser l'élément KLH®-CLT nervuré sur une lisse basse continue préalablement implantée en classe d'emploi 3 ou 4 naturellement durable ou à durabilité conférée. Celle-ci est fixée par chevilles de fixation comme décrit ci-avant.

Une bande d'étanchéité autocollante via un primaire d'accrochage peut aussi assurer l'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau des liaisons béton avec des éléments KLH®-CLT nervurés.

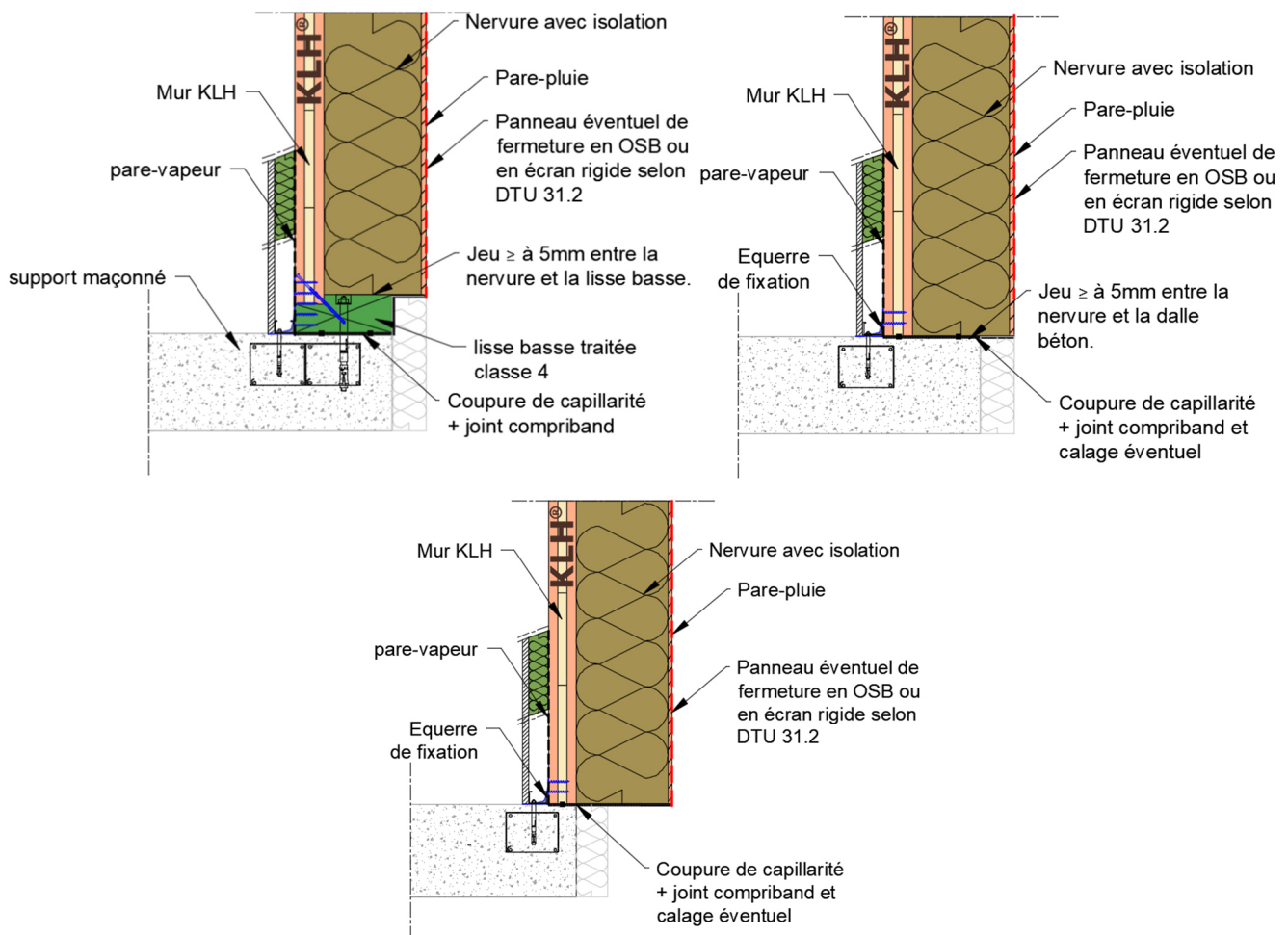
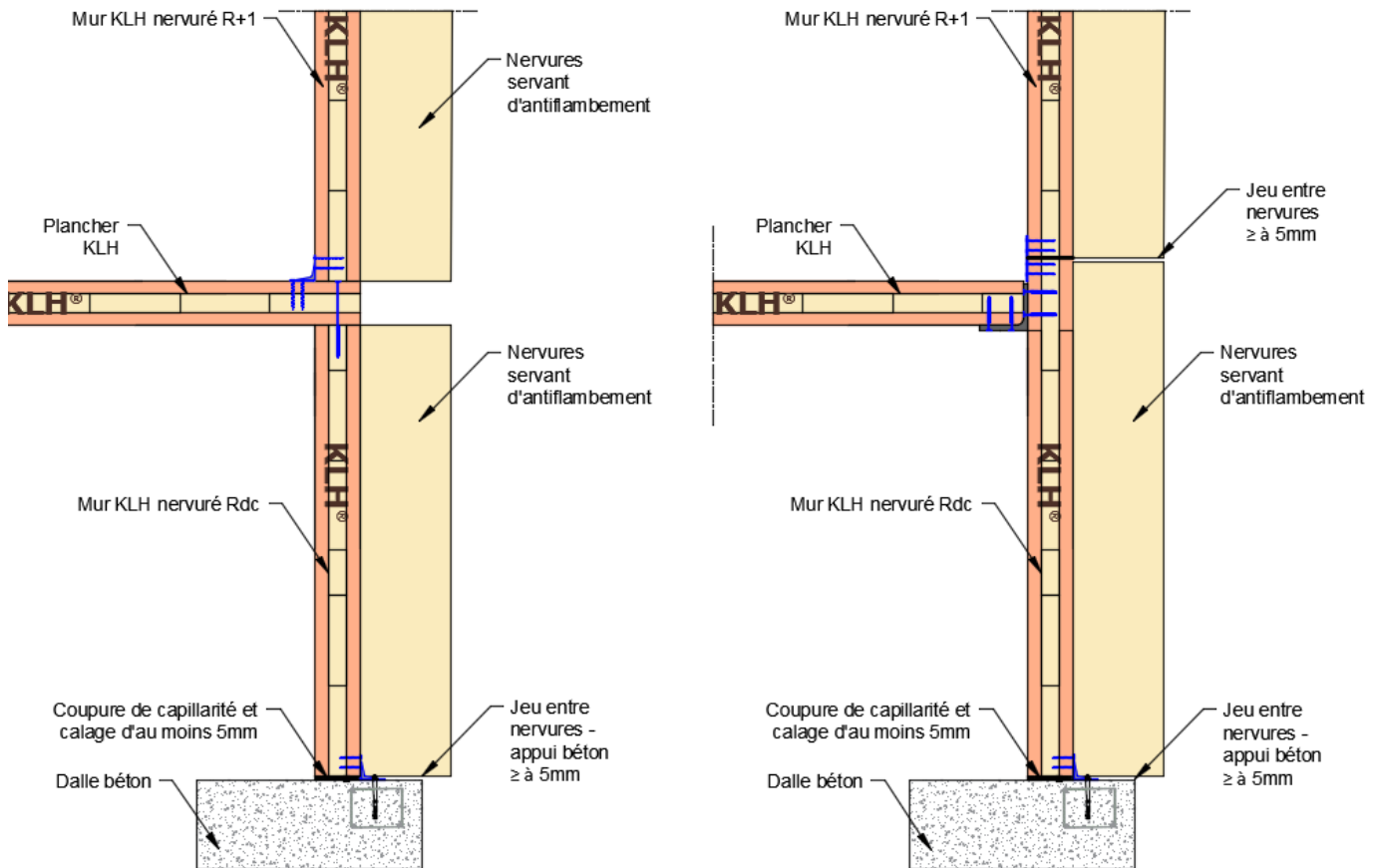


Figure 24 - Détails d'appuis usuels d'éléments KLH®-CLT nervurés posés verticalement

L'appui de l'élément KLH®-CLT nervuré reprenant les efforts verticaux est assuré par le panneau de mur KLH®-CLT seul. Les nervures ont un rôle uniquement d'antiflambement, il est nécessaire de ménager un jeu d'au moins 5mm entre le mur KLH®-CLT et l'extrémité des nervures pour s'assurer que ces dernières ne soient pas sollicitées en compression. Pour ce faire :

- Soit les nervures sont positionnées en retrait d'au moins 5mm du mur KLH®-CLT ;
- Soit des plaques métalliques d'au moins 5mm sont positionnées sous le mur KLH®-CLT.



Cas A : nervures non participantes
avec plancher en appui sur mur

Cas B : nervures non participantes
avec plancher entre mur

Figure 25 - détails d'appui de mur nervuré avec nervures non participantes à la reprise de compression

2.12.1.1.3. Assemblages entre éléments KLH®-CLT nervurés (murs et planchers)

La fixation des éléments KLH®-CLT nervurés entre eux dans un même plan doit permettre d'assurer :

- L'équilibre statique de la structure.
- La transmission des efforts de diaphragme et de contreventement entre panneaux adjacents.
- La limitation des déformations différentielles entre panneaux nervurés de plancher adjacents (pianotage).
- L'affleurement des éléments (service)
- Le compartimentage feu (cf. Avis de laboratoire n° AL20-291 établi par le CSTB, du 03/02/2022), acoustique, étanchéité à l'air, etc. Un joint d'étanchéité peut s'avérer nécessaire au niveau des jonctions entre éléments.

Les éléments KLH®-CLT nervurés permettent le contreventement de la structure via leur tablier en KLH. Aussi, il est nécessaire d'assurer une continuité du plan de diaphragme en évitant, dans la mesure du possible, de transférer les efforts de cisaillement d'un tablier (panneau haut ou bas) à l'autre par les nervures des caissons H. Le mode de liaison doit être compatible avec les contraintes de montage (par le dessus ou par le dessous) et de production des éléments KLH®-CLT nervurés (caissons ouverts ou fermés).

Les éléments KLH®-CLT nervurés sont généralement fixés entre eux par vissage de type Spax, SFS ou équivalent au moyen :

- D'une ou plusieurs languettes en contreplaqué, 3 plis ou LVL.
- D'un mi-bois
- Par vissage en croix à l'aide de vis à filetage total ou à double filetage
- Par assemblage bois/bois travaillant en compression/cisaillement (type créneaux ou par insertion de clavettes bois, béton ou métallique)

Les assemblages courants de jonctions sont présentés en Figures 29 et 30 de la partie « Tableaux et figures du dossier technique ».

2.12.1.1.4. Assemblage d'éléments KLH®-CLT nervurés en angle

La fixation des éléments KLH®-CLT en angle doit permettre d'assurer :

- L'équilibre statique de la structure.

- La transmission des efforts de diaphragme et de contreventement entre panneaux assemblés (mur-mur et/ou mur-plancher). La connexion des éléments KLH®-CLT nervurés entre eux en angle (mur/mur, mur/plancher ou plancher/mur) est réalisée :
 - Par vissage direct entre les éléments.
 - Au moyen de connecteurs métalliques tridimensionnels.
 - Par l'intermédiaire d'un carrelet en bois vissé.
 - Par assemblage bois/bois travaillant en compression/cisaillement (type créneaux)

Le cas échéant, il convient d'interposer un joint d'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau de type butyl, bandes autocollantes, EPDM ou Compriband.

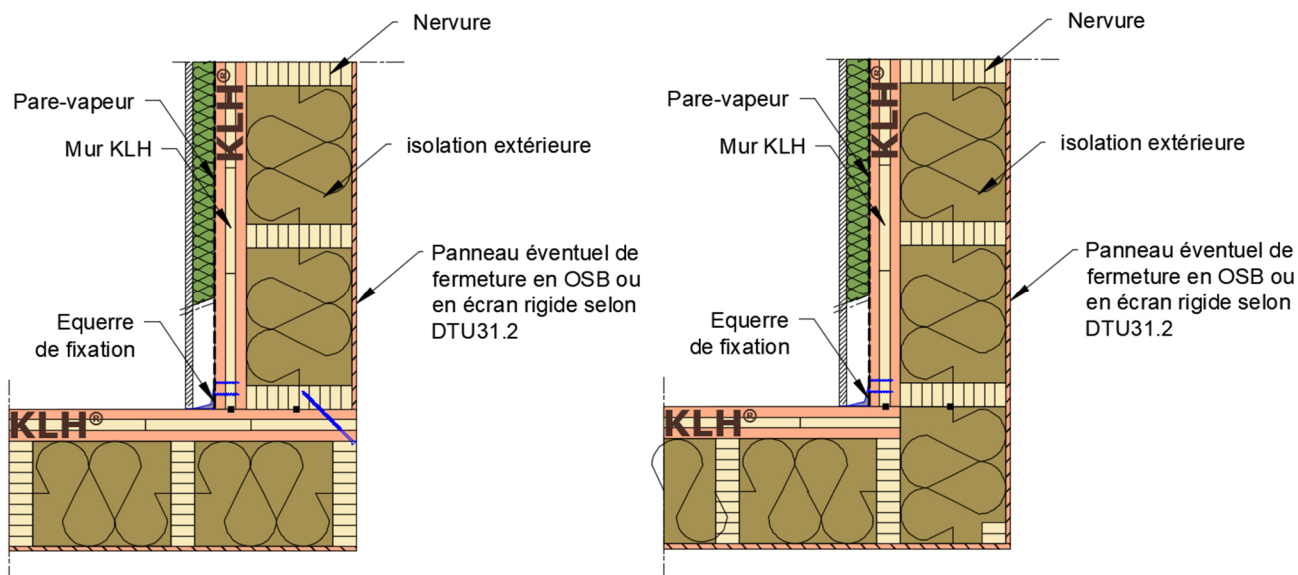


Figure 26 - Détails d'angle de murs entre deux éléments KLH®-CLT nervurés avec nervures positionnées côté extérieur

2.12.1.1.5. Jeux entre éléments KLH®-CLT nervurés

Il est important de prévoir lors des plans d'exécution les dispositifs nécessaires pour absorber les tolérances des éléments KLH®-CLT nervurés qui se cumulent lorsque plusieurs éléments KLH®-CLT nervurés sont positionnés les uns à côtés des autres. Pour absorber ces tolérances, il est possible de ménager un jeu suffisant sur chaque élément ou après le dernier élément et de combler le vide restant par un dispositif adapté. Il est également possible de réaliser le dernier élément KLH®-CLT nervuré sans dernière nervure et avec le tablier KLH®-CLT supérieur ou (et éventuellement inférieur) en porte à faux qui pourra alors être coupée sur chantier avant de reposer sur une rive ou sur un mur et ainsi s'adapter parfaitement au bâtiment.

2.12.2. Dispositions relatives à l'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau

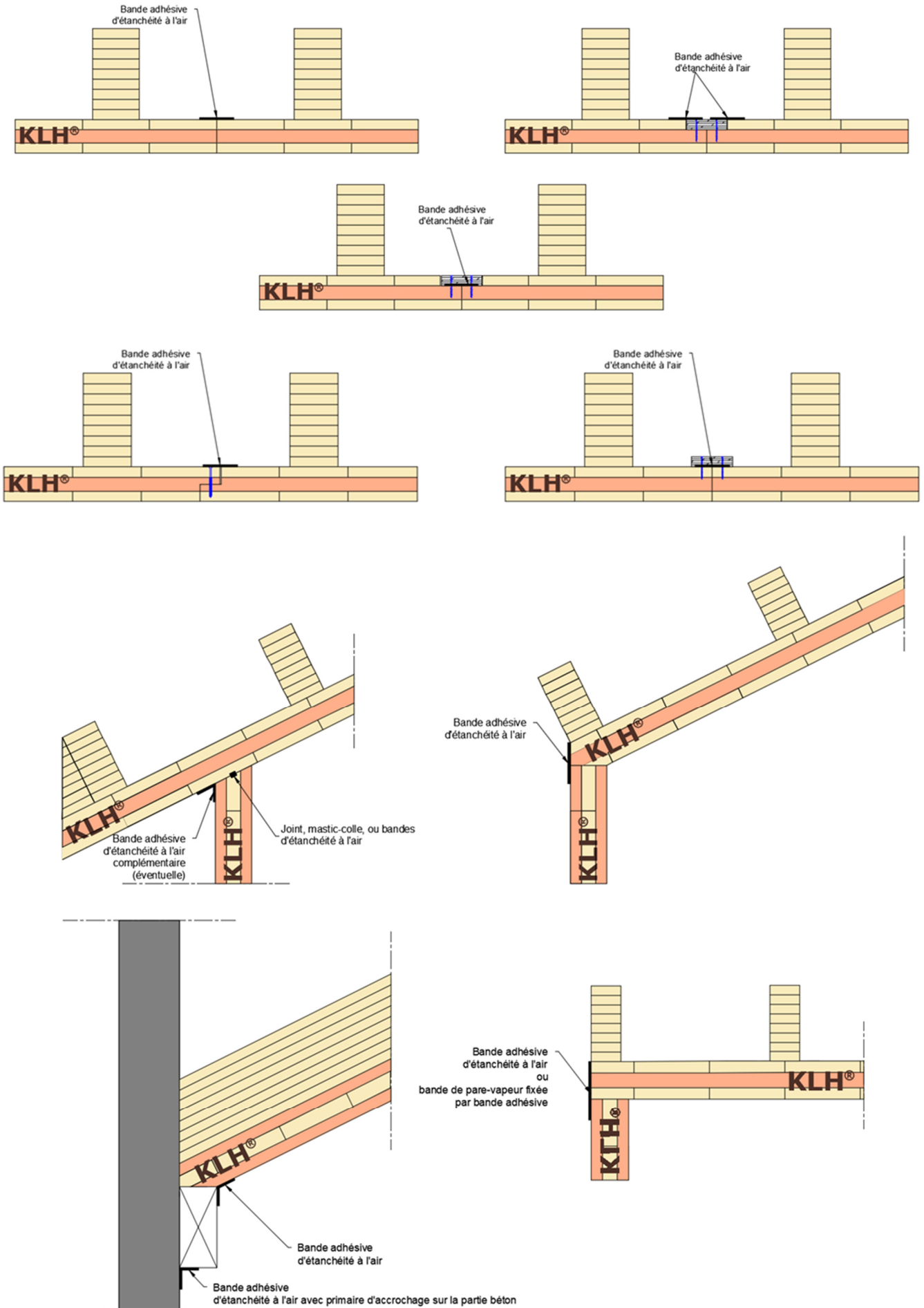
L'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau doit être réalisée sur tout l'ouvrage et notamment au niveau des points singuliers (jonctions avec les menuiseries, jonctions entre panneaux, au niveau du soubassement, avec la toiture, ...). En partie courante, cette étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau sera assurée soit par le panneau KLH®-CLT, soit par la membrane pare-vapeur.

Lorsque est utilisée une membrane pare-vapeur en paroi de couverture et en paroi verticale, les jonctions entre lés de pare-vapeur sont assurées par une bande adhésive conforme à la norme NF DTU 31.2 et certifiée par le FCBA, issue du même système que la membrane elle-même.

En l'absence de membrane pare-vapeur, au niveau des jonctions entre éléments KLH®-CLT nervurés, l'étanchéité doit être renforcée par l'application d'une bande adhésive d'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau. Ces bandes adhésives devront bénéficier d'une certification CTB. Lorsque nécessaire, une bande de pare-vapeur fixée à ses extrémités par des bandes adhésives assurent aussi la continuité de l'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau.

Pour les cas où l'application de bandes adhésives est rendue difficile, l'utilisation de joints compressibles ou de cordons de mastic-colle assurent également cette fonction. Ceux-ci devront bénéficier d'une certification SNJF attestant d'une compatibilité sur support bois.

Des exemples de mise en œuvre de produits d'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau sont présentés ci-après :



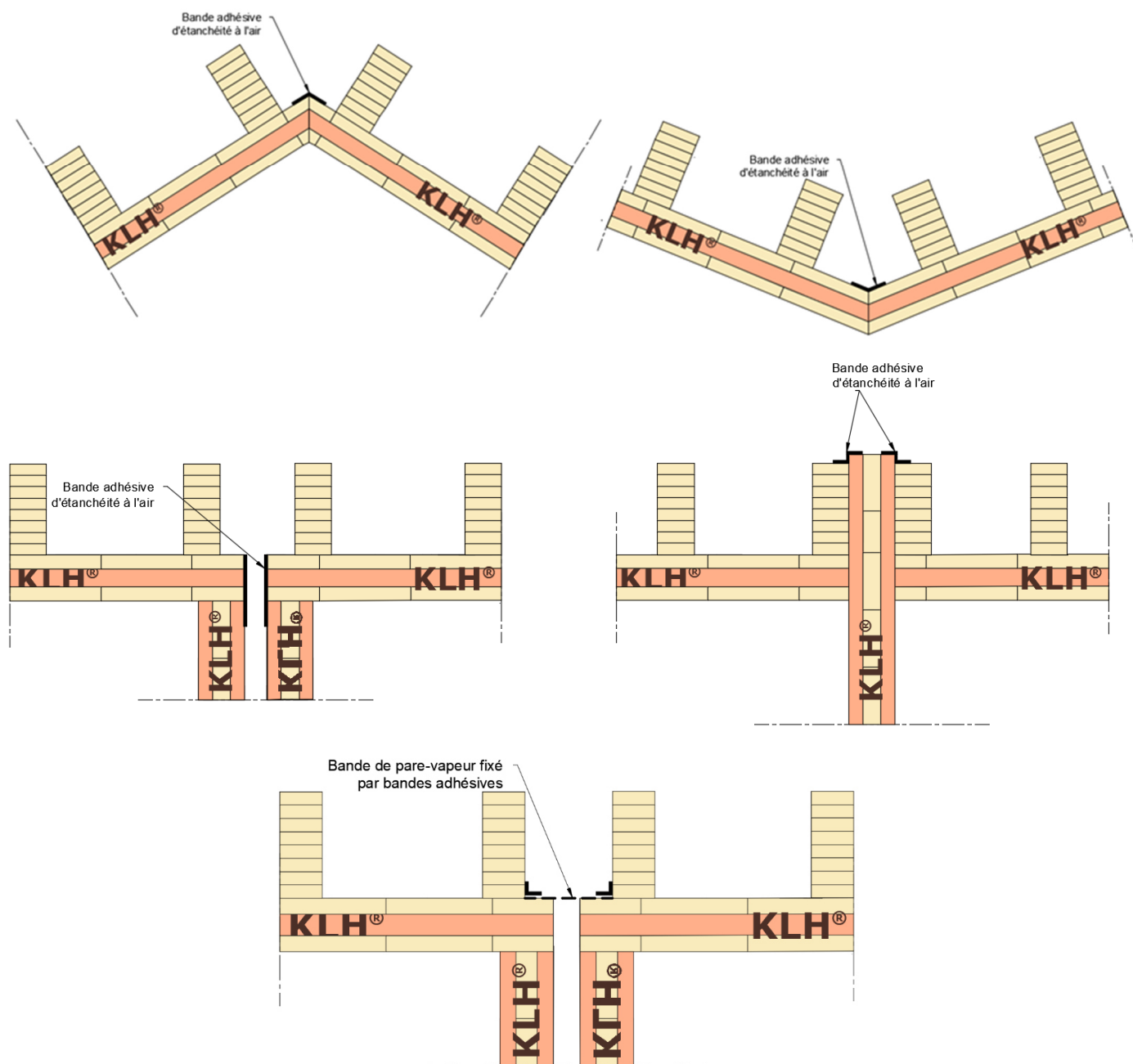


Figure 27 - Détails de traitement de l'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau au niveau des jonctions de panneaux

2.12.3. Dispositions spécifiques relatives au montage

Les panneaux sont livrés sur site par transport routier « juste à temps ». La mise en œuvre sur chantier se fait à l'aide d'une grue.

2.12.4. Dispositions de transport et de stockage

Le transport et le stockage des éléments KLH®-CLT nervurés doit être réalisés conformément aux dispositions du paragraphe 6 du CPT 3802-P2 « panneaux structuraux massifs bois ».

2.12.4.1. Stockage sur chantier

Le taux d'humidité des panneaux KLH®-CLT sortant de l'usine moyen est de $12\% \pm 2$. L'entreprise en charge des travaux doit prendre les dispositions nécessaires sur chantier afin d'éviter des reprises d'humidité trop importantes.

Pour les stockages, il convient de prévoir une zone de stockage plane afin d'éviter toute déformation, de ne pas mettre les panneaux en contact direct avec le sol mais à minima les poser sur des carreaux, de prévoir une ventilation suffisante entre le sol et les panneaux, entre les panneaux et idéalement entre les panneaux la protection afin d'éviter les phénomènes de condensation. De même que les panneaux devront être suffisamment désolidarisés du sol pour éviter les salissures et les reprises d'humidités.

La protection est mise en place puis déposée par l'entreprise en charge du lot bois.

Cette protection pourra être du type bâche pour un stockage de courte durée d'une semaine par exemple.

Pour des stockages d'une durée supérieure, une protection respirante de type pare-pluie avec un facteur Sd inférieur ou égale à 18m est à privilégier contre les risques de condensation.

Les protections seront de couleur sombre et anti-UV, pour que toute infiltration sous l'écran puisse s'évaporer rapidement et pour éviter que les panneaux changent de couleur à cause des UV notamment pour les panneaux en qualité visible.

Les protections seront fixées correctement avec des contre-lattes pour éviter les prises au vent.

2.12.4.2. Déroulement du montage

Avant le levage des panneaux KLH®-CLT, L'entreprise de montage doit s'assurer du respect des points ci-après :

- Vérifier la planéité des fondations du bâtiment avant la date du montage. Si la planéité du support n'est pas assurée, elle peut être corrigée par des cales ;
- Vérifier les tolérances d'exécution du support ;
- Vérifier les points de d'élingage et la capacité de la grue en fonction du poids des panneaux afin d'optimiser la sécurité au moment du levage ;
- Vérifier la sécurité des personnes vis-à-vis des risques de chutes d'hauteur par mise en place des protections collectives ou, en cas d'impossibilité technique, par des protections individuelles ;
- Prévoir la mise en place d'un étaielement provisoire des panneaux KLH®-CLT en attendant leur fixation définitive ;
- 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...).

2.12.4.3. Protection contre les intempéries en phase chantier

Pour les murs KLH®-CLT :

- Les points singuliers à protéger sont les parties horizontales telles que les têtes de mur et les têtes d'allège.
- Pour les bâtiments à multi étages, les reprises d'humidité sur les murs extérieures pourront être limitées par exemple avec la mise en œuvre de toiles ajourées adaptées et fixées aux échafaudages. La mise en œuvre de pare-pluie collée en face extérieure des panneaux peut être réalisé en préfabrication de murs 2D en atelier.
- Prévoir un pontage des jonctions entre panneaux de murs notamment lorsque les parements intérieurs sont destinés à rester visibles par des bandes autocollantes conformes à l'annexe D partie 1.2 du DTU 31.2.

Pour le plancher KLH®-CLT penté porteur de l'étanchéité ou de la couverture :

- Une protection de type parapluie décrite au § 8.2 du e-cahier CSTB 3814. Cette solution permet aux différents corps de métier de travailler sur l'ouvrage sans intervenir sur la protection.

Ou

- Une protection sous forme de lés d'écran souple pare-pluie HPV (Sd <0,18 m), certifié QB 25 de classement Sd1, défini et mis en œuvre (fixées et jointoyées par bandes adhésives) conformément au NF DTU 31.2. La mise en place d'un tel écran nécessite que l'élément porteur présente une pente (hors pente nulle).
Les jonctions entre les protections sont traitées par des lés de recouvrement successifs de largeur supérieure à 10 cm, du bas de pente vers le haut de pente, complétées par une bande autocollante présentant la même durée de vieillissement que l'écran et compatible avec l'écran, conformément au NF DTU 31.2.

Les protections de section courante sont relevées au niveau des éventuels reliefs sur une hauteur minimale de 20 cm. La jonction entre la protection temporaire protégeant le relief et la protection temporaire de section courante est réalisée par la superposition de la protection du relief sur la protection de section courante avec un recouvrement vertical de 10 cm minimum. La jonction entre les lés est complétée avec une bande adhésive conforme au DTU 31.2.

Prévoir un pontage des nez de dalles par des bandes autocollantes conformes à l'annexe D partie 1.2 du DTU 31.2.

Selon la durée de vieillissement selon l'annexe C de la norme NF EN 13859-2 (336 / 1 000 / 5 000 heures), ayant été appliquée pour obtenir le classement W1 de résistance à la pénétration de l'eau, les écrans souples doivent être remplacés par le titulaire du lot structure bois, à une fréquence de :

- 10 jours pour un écran vieilli 336 h ;
- 2 mois pour un écran certifiés QB38 "1000h" ;
- 4 mois pour un écran vieilli 5 000 h.

La protection posée sur le plancher, y compris les pointes ou agrafes de fixation, est déposée à l'avancement du chantier.

Dans le cas particulier du T inversé perpendiculaire à la pente, support de couverture, il est nécessaire de prévoir en atelier des percements de diamètre 30 mm en milieu de portée dans la nervure afin d'évacuer les eaux d'infiltrations accidentelles, les récupérer et les évacuer en bas de pente.

Pour le plancher KLH®-CLT non penté porteur de l'étanchéité (cf. § 3.4) :

- Seule la protection de type parapluie décrite au § 8.2 du e-cahier CSTB 3814 est utilisable. Cette solution permet aux différents corps de métier de travailler sur l'ouvrage sans intervenir sur la protection.

2.12.4.4. Contrôle de la siccité des panneaux CLT en phase chantier

L'humidité des panneaux doit rester $\leq 22\%$. Ce seuil ne préjuge pas des conditions nécessaires à respecter pour la mise en œuvre des revêtements extérieurs.

Afin de respecter les conditions de service des panneaux, le contrôle de la siccité des panneaux de plancher support de toiture sont réalisés conformément au e-cahier CSTB 3814.

2.12.5. Dispositions concernant les parements intérieurs et extérieurs

Les revêtements ou finitions intérieures et extérieures visées sont les finitions définies par un DTU, un Avis Technique ou un DTA visant favorablement la mise en œuvre devant ou sur, ce type de support.

2.12.5.1. Dispositions relatives aux revêtements extérieurs

Les éléments KLH®-CLT nervurés doivent être habillés d'un revêtement extérieur. Le référentiel de ces derniers devra viser la pose sur construction à ossature bois conforme au NF DTU 31.2 ou sur support CLT. Ils pourront être de type vêtture, bardage rapporté, ETICS, etc. Les recommandations données dans les § 2.12.2 à 2.12.4 du cahier du CSTB 3802_P2 s'appliquent.

2.12.5.2. Dispositions relatives aux revêtements intérieurs

Pour les murs, toute solution compatible avec un procédé de CLT et/ou d'ossature bois selon la norme NF DTU 31.2, telle que par exemple une contre-cloison de plaque de plâtre cartonnée sur ossature métallique selon la norme NF DTU 25.41.

Pour les plafonds, les revêtements intérieurs peuvent être :

- Directement mis en œuvre en sous face du panneau KLH® pour les éléments nervurés T inversés, caisson H et entre nervures pour les éléments nervurés T. Dans ce cas le référentiel dudit revêtement doit soit viser la pose sur plancher bois conforme au NF DTU 51.3, soit viser la pose sur support CLT (par exemple les lambris en lames de bois conformes au NF DTU 36.2) ;
- Mis en œuvre sur un ouvrage intermédiaire par exemple plafond en plaque de plâtre conforme au NF DTU 25.41, dans ce cas, le référentiel dudit ouvrage intermédiaire doit soit viser la pose sur plancher bois conforme au NF DTU 51.3, soit viser la pose sur support CLT. Le référentiel du revêtement doit bien entendu viser la pose sur ledit ouvrage intermédiaire. Cet ouvrage intermédiaire est soit positionné en dessous des nervures pour les éléments KLH® nervurés T, soit en dessous du tablier inférieur en panneau KLH® pour les éléments KLH® nervurés T inversés ou caisson H, soit positionné entre les nervures pour les caissons en T.

Pour les sols, les revêtements intérieurs peuvent être :

- Directement mis en œuvre sur le panneau KLH® ; dans ce cas le référentiel dudit revêtement doit soit viser la pose sur plancher bois conforme au NF DTU 51.3, soit viser la pose sur support CLT ;
- Mis en œuvre sur un ouvrage intermédiaire (par exemple une chape) ; dans ce cas, le référentiel dudit ouvrage intermédiaire doit soit viser la pose sur plancher bois conforme au NF DTU 51.3, soit viser la pose sur support CLT. Le référentiel du revêtement doit bien entendu viser la pose sur ledit ouvrage intermédiaire.

Dans le cas des éléments KLH® nervuré en T inversé, la mise en œuvre d'un panneau à base de bois conforme au NF DTU 51.3 est nécessaire.

2.13. Distribution et assistance technique

La commercialisation des éléments nervurés KLH®-CLT en France est confiée exclusivement à la société LIGNATEC qui dispose de personnel compétent et présentant une longue expérience dans le domaine de la construction bois.

La société LIGNATEC fournit une assistance technique sur demande en phase de conception et de préparation d'exécution de la structure.

La conception et le calcul des éléments nervurés KLH®-CLT sont à la charge du bureau d'études techniques qui doit également fournir un plan de pose complet. La société LIGNATEC 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 éléments nervurés KLH®-CLT en respect des prescriptions techniques particulières du présent Avis et des normes en vigueur. La mise en œuvre est réalisée par le constructeur bois, le charpentier ou l'entreprise générale. L'assistance technique de la mise en œuvre pourra être fournie sur demande par la société LIGNATEC.

2.14. Résultats expérimentaux

Essais de flexion 4 points réalisés par Holzforschung Austria (Rapport d'essai - 938/2001).

Essais de flexion 4 points réalisés par le MPA de Stuttgart (Rapport d'essai - 12/2011).

BOGENSPERGER, Th.: Présentation et application pratique pour la détermination de la largeur effective de panneaux CLT. Rapport de recherche focus_sts 2.2.3_1, holzbau forschungs gmbh Graz, 2013.

CEN/TC250/SC5.T1 – PT1 & WG1: Avant-Projet panneaux CLT dans la révision de l'Eurocode 5 -1-1. Version 2018-04-13

Rapport de synthèse sur la perméance à la vapeur d'eau des panneaux KLH-CLT de septembre 2021.

Etude hygrothermique n° PES-21-0070078261.

Appréciation de laboratoire de résistance au feu N°AL 20-291 du 03/02/2022 du CSTB.

2.15. Références

2.15.1. Données Environnementales

Le procédé éléments KLH®-CLT nervurés ne fait 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.

2.15.2. Autres références

En France, Plus de 250 000m² d'éléments KLH®-CLT nervurés ont été mis en œuvre en mur, plancher, support de couverture et support de toiture avec revêtement d'étanchéité pour des toitures de type chaude, froide ventilée et accessibles aux piétons.

- Bureaux de la mairie de Chartres – Dpt 28 : mise en œuvre de 5000m² de plancher KLH®-CLT nervurés T inversé - bureaux de contrôle SOCOTEC – BET WERNER SOBEK GmbH (2016)

- Siège de la communauté de communes de L'Oisans – Dpt38 : mise en œuvre de 600 m² de panneaux KLH®-CLT nervurés T utilisé en plancher - bureaux de contrôle Alpes Control - BET Arborescence et BET Altibois (2016)
- Collège de Lamballe – Dpt 22 : mise en œuvre de 3400 m² de panneaux KLH®-CLT nervurés T utilisé en plancher et en support de toiture - bureaux de contrôle Apave - BET QSB (2017)
- 11 Logements collectifs à Amiens – Dpt 80 : mise en œuvre de 500 m² de panneaux KLH®-CLT nervurés T utilisé en murs extérieurs - bureaux de contrôle Qualiconsult - BET Ginko Ingénierie (2017)
- Maison du Personnel Université de Strasbourg – Dpt 67 : mise en œuvre de 740 m² de panneaux KLH®-CLT nervurés T utilisé en plancher et en support de toiture - bureaux de contrôle Apave - BET ACT' BOIS (2018)
- Hôpital de jour Résidence Alceste à Clermont-Ferrand– Dpt 63 : mise en œuvre de 670 m² de panneaux KLH®-CLT nervurés T utilisé en plancher - bureaux de contrôle Socotec - BET Arborescence (2018)
- Groupe scolaire à Drancy – Dpt 93 : mise en œuvre de 1800 m² de panneaux KLH®-CLT nervurés T utilisé en plancher - bureaux de contrôle Veritas - BET Arpente et Cruard Charpente (2017)
- Aménagement de bureaux et ateliers de la DAPJ dans l'ancienne orangerie du palais du Luxembourg à Paris – Dpt 75: mise en œuvre de 1167 m² de panneaux KLH®-CLT nervurés T utilisé en murs et en support de couverture - bureaux de contrôle Qualiconsult - BET INGEBOIS (2018)
- 68 Logements collectifs Eco-quartier Remavert à Reims – Dpt 51 : mise en œuvre de 3800 m² de panneaux KLH®-CLT nervurés T utilisé en plancher - bureaux de contrôle Veritas - BET REFLEX'BOIS (2019)
- Groupe scolaire Val notre Dame à Argenteuil – Dpt 95 : mise en œuvre de 3450 m² de panneaux KLH®-CLT nervurés T utilisé en plancher - bureaux de contrôle BTP Consultants - BET Sylva conseil et Pi Conception (2018-19)
- 146 logements collectifs en R+11 labélisés passivhaus à Strasbourg – Dpt 67 : mise en œuvre de 2330ml de Muralières sur murs KLH (KLH®-CLT nervurés M) - bureaux de contrôle Socotec - BET Ingénierie Bois (2018)
- 56 logements collectifs en R+9 labélisés Passivhaus à Grenoble – Dpt 38 : mise en œuvre de 1380ml de Muralières sur murs KLH (KLH®-CLT nervurés M) - bureaux de contrôle Socotec - BET HV Conseil et Ingénierie Bois (2020)
- Groupe scolaire –Rue René Navier – Dpt 93 : mise en œuvre de 2090 m² de panneaux KLH®-CLT nervurés T utilisé en plancher et 2040m² de panneaux KLH®-CLT nervurés T utilisé en support de toiture - bureaux de contrôle BTP Consultants - BET B.A.-BOIS (2020)

Support d'étanchéité

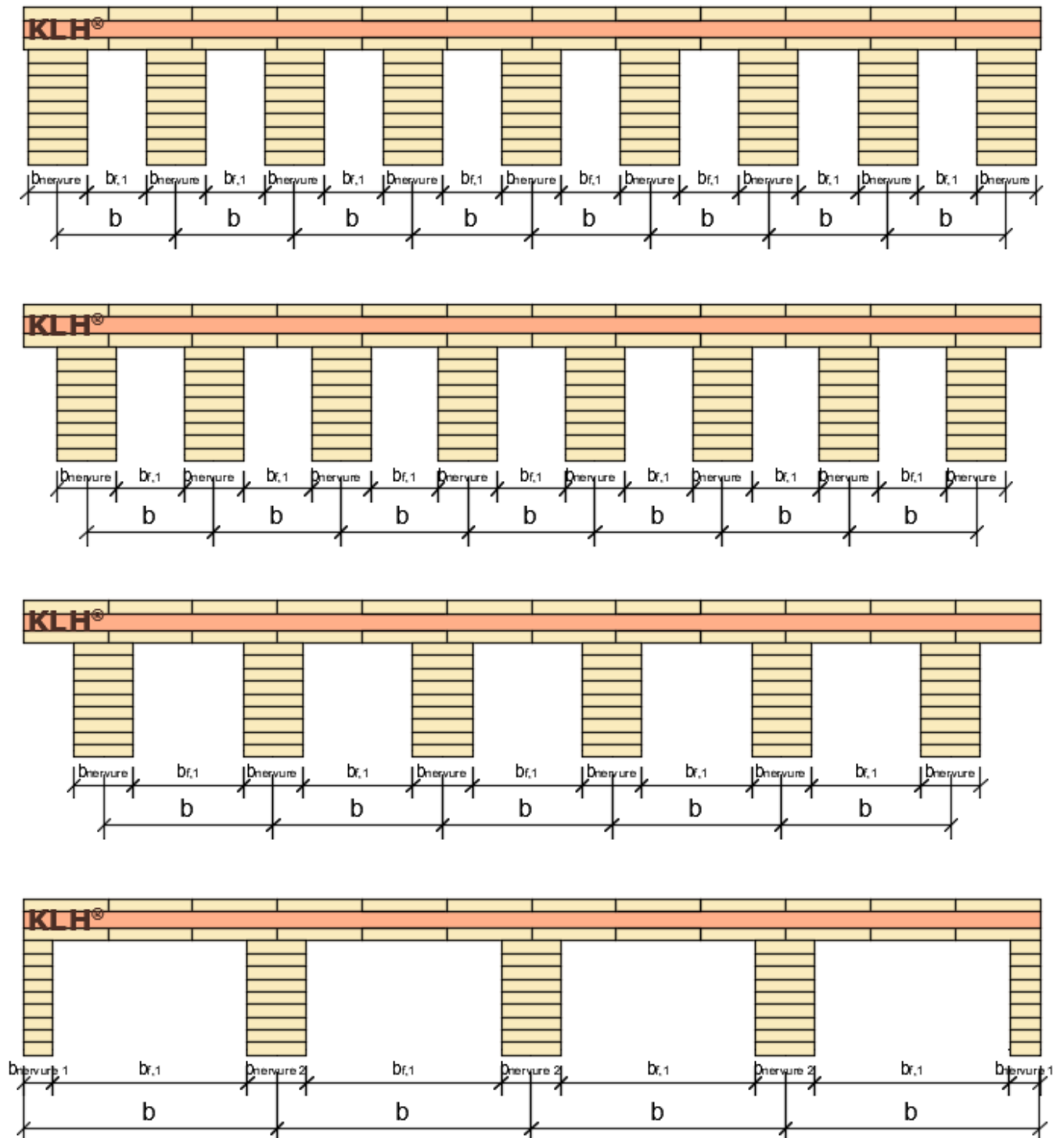
En France, au moins 50 000 m² d'éléments KLH® CLT nervurés en support de toitures ont été réalisés avec un revêtement d'étanchéité.

Support de couverture

Les éléments KLH® CLT nervurés ont été utilisés sur le marché français à partir de 2005 et ont permis la réalisation de plus de 20 000 m² de couverture sur maisons individuelles, logements collectifs, bureaux, bâtiments recevant du public et bâtiments industriels.

2.16. Annexes du Dossier Technique

largeur standard de dalle KLH (2.45, 2.50, 2.73 ou 2.95m - sur demande au delà de 3m)



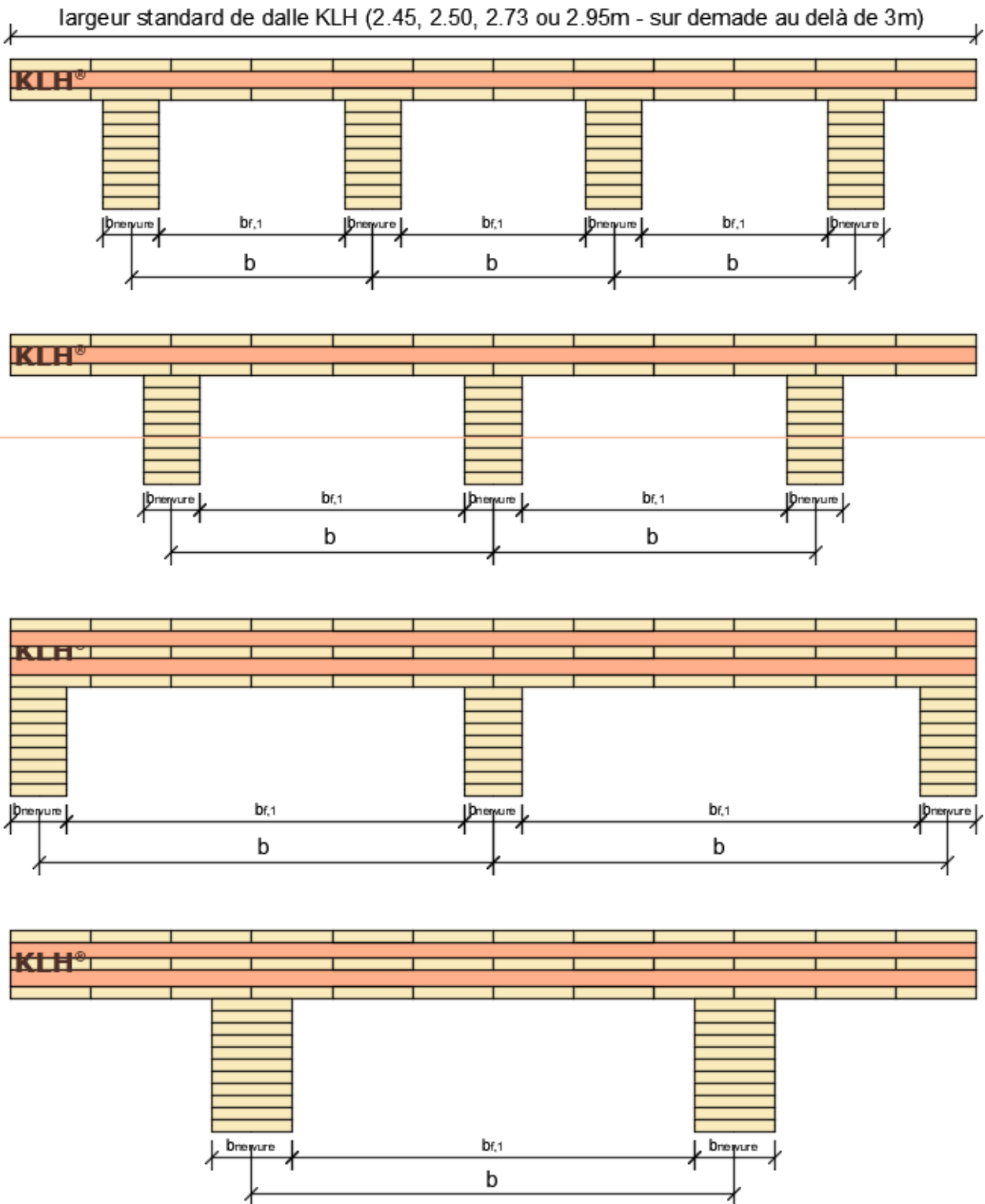


Figure 28 - Exemples de répartition type de nervures sur un tablier KLH®-CLT de format standard en 2.45m, 2.50m, 2.73m ou 2.95m, et sur demande en 3.10m, 3.20m, 3.30m, 3.40m et 3.50m. Ces répartitions type sont applicable pour les éléments nervurés, T, T inversé et caisson H.

Tableau 6 - principales propriétés des Panneaux KLH®-CLT

Panneau	flexion			cisaillement		traction		cis. à chant	Inertie nette		Moment Statique net		Cisaillement		coefficient de correction de cisaillement	
	D ₁₁	D ₂₂	D ₃₃	D ₄₄	D ₅₅	D ₆₆	D ₇₇		D ₈₈	I _{net,x}	I _{net,y}	S _{R,net,x}	S _{R,net,y}	GA _x	GA _y	K _x
	El _x	El _y	Gl _{xy}	GA _{KLH,x}	GA _{KLH,y}	EA _x	EA _y	GA _{xy}	cm ⁴ /m	cm ⁴ /m	cm ³ /m	cm ³ /m	kN/m	kN/m	[-]	[-]
KLH 3s 60 Q	208	8.0	6.7	4 420	11500	480 000	240 000	18 800	1733	67	400	22.3	28 600	13 800	0.155	0.833
KLH 3s 70 Q	316	27.0	10.7	4 450	17 200	480 000	360 000	22 000	2 633	225	500	50.0	29 100	20 600	0.153	0.833
KLH 3s 80 Q	504	8.0	16.0	7 150	11500	720 000	240 000	25 100	4 200	67	750	22.3	42 400	13 800	0.169	0.833
KLH 3s 90 Q	702	27.0	22.7	6 630	17 200	720 000	360 000	28 200	5 850	225	900	50.0	42 900	20 600	0.155	0.833
KLH 3s 100 Q	936	64.0	31.2	6 600	23 000	720 000	480 000	31400	7 800	533	1050	88.8	43 400	27 600	0.152	0.833
KLH 3s 110 Q	1300	27.0	41.5	9 260	17 200	960 000	360 000	34 500	10 867	225	1400	50.0	56 700	20 600	0.163	0.833
KLH 3s 120 Q	1660	64.0	53.9	8 840	23 000	960 000	480 000	37 600	13 867	533	1600	88.8	57 200	27 600	0.155	0.833
KLH 5s 100 Q	792	208.0	33.8	7 980	4 420	720 000	480 000	33 700	6 600	1733	800	400	43 400	28 600	0.184	0.155
KLH 5s 110 Q	1020	316.0	45.0	10 100	4 450	840 000	480 000	37 100	8 458	2 633	900	500	50 200	29 100	0.201	0.153
KLH 5s 120 Q	1520	208.0	58.4	10 200	4 420	960 000	480 000	40 500	12 667	1733	1350	400	57 300	28 600	0.178	0.155
KLH 5s 130 Q	1880	316.0	74.3	12 400	4 450	1080 000	480 000	43 900	15 675	2 633	1500	500.0	64 200	29 100	0.193	0.153
KLH 5s 140 Q	2 300	448.0	92.8	14 900	4 710	1200 000	480 000	47 200	19 133	3 733	1650	600.0	70 900	29 600	0.210	0.159
KLH 5s 150 Q	2 670	702.0	114.0	12 000	6 630	1080 000	720 000	50 600	22 275	5 850	1800	900.0	65 300	42 900	0.184	0.155
KLH 5s 160 Q	3 650	448.0	138.0	17 600	4 710	1440 000	480 000	54 000	30 400	3 733	2 400	600.0	84 700	29 600	0.208	0.159
KLH 3s 60 L	208	8.0	6.7	4 420	11500	480 000	240 000	18 800	1733	67	400	22.3	28 600	13 800	0.155	0.833
KLH 3s 70 L	316	27.0	10.7	4 450	17 200	480 000	360 000	22 000	2 633	225	500	50.0	29 100	20 600	0.153	0.833
KLH 3s 80 L	504	8.0	16.0	7 150	11500	720 000	240 000	25 100	4 200	67	750	22.3	42 400	13 800	0.169	0.833
KLH 3s 90 L	702	27.0	22.7	6 630	17 200	720 000	360 000	28 200	5 850	225	900	50	42 900	20 600	0.155	0.833
KLH 3s 100 L	992	8.0	31.2	10 500	11500	960 000	240 000	31400	8 267	67	1200	22.3	56 400	13 800	0.186	0.833
KLH 3s 110 L	1300	27.0	41.5	9 260	17 200	960 000	360 000	34 500	10 867	225	1400	50.0	56 700	20 600	0.163	0.833
KLH 3s 120 L	1660	64.0	53.9	8 840	23 000	960 000	480 000	37 600	13 867	533	1600	88.8	57 200	27 600	0.155	0.833
KLH 5s 100 L	792	208.0	33.8	7 980	4 420	720 000	480 000	33 700	6 600	1733	800	400.0	43 400	28 600	0.184	0.155
KLH 5s 110 L	1020	316.0	45.0	10 100	4 450	840 000	480 000	37 100	8 458	2 633	900	500.0	50 200	29 100	0.201	0.153
KLH 5s 120 L	1520	208.0	58.4	10 200	4 420	960 000	480 000	40 500	12 667	1733	1350	400.0	57 300	28 600	0.178	0.155
KLH 5s 130 L	1880	316.0	74.3	12 400	4 450	1080 000	480 000	43 900	15 675	2 633	1500	500.0	64 200	29 100	0.193	0.153
KLH 5s 140 L	2 540	208.0	92.8	12 700	4 420	1200 000	480 000	47 200	21 133	1733	2 000	400	70 800	28 600	0.179	0.155
KLH 5s 150 L	3 060	316.0	114.0	15 000	4 450	1320 000	480 000	50 600	25 492	2 633	2 200	500	77 700	29 100	0.193	0.153
KLH 5s 160 L	3 650	448.0	138.0	17 600	4 710	1440 000	480 000	54 000	30 400	3 733	2 400	600	84 700	29 600	0.208	0.159
KLH 5s 170 L	4 210	702.0	166.0	14 100	6 630	1320 000	720 000	57 400	35 092	5 850	2 600	900.0	78 800	42 900	0.179	0.155
KLH 5s 180 L	4 900	936.0	197.0	16 200	6 600	1440 000	720 000	60 700	40 800	7 800	2 800	1050.0	85 600	43 400	0.189	0.152
KLH 5s 190 L	5 560	1300.0	232.0	14 100	9 260	1320 000	960 000	64 100	46 292	10 867	3 000	1400.0	80 000	56 700	0.176	0.163
KLH 5s 200 L	6 340	1660.0	270.0	16 000	8 840	1440 000	960 000	67 500	52 800	13 867	3 200	1600.0	87 100	57 200	0.184	0.155
KLH 7s 180 L	3 300	2 540.0	210.0	12 700	12 700	960 000	1200 000	60 700	27 467	21 133	2 000	2 000.0	60 200	70 800	0.211	0.179
KLH 7s 200 L	4 350	3 650.0	288.0	13 000	17 600	960 000	1440 000	67 500	36 267	30 400	2 400	2 400.0	61 200	84 700	0.212	0.208
KLH 7s 220 L	7 060	3 590.0	383.0	17 800	12 200	1440 000	1200 000	74 200	58 800	29 933	3 600	2 400.0	87 600	72 000	0.203	0.169
KLH 7s 240 L	8 930	4 900.0	497.0	17 600	16 200	1440 000	1440 000	81 000	74 400	40 800	4 200	2 800.0	89 000	85 600	0.198	0.189
KLH 5ss 160 L	4 030	64.0	128.0	14 300	23 000	1440 000	480 000	40 800	33 600	533	3 000	88.8	84 800	27 600	0.169	0.833
KLH 7ss 180 L	5 620	208.0	197.0	18 800	4 420	1680 000	480 000	50 600	46 867	1733	3 600	400.0	98 800	28 600	0.190	0.155
KLH 7ss 200 L	7 550	448.0	270.0	24 100	4 710	1920 000	480 000	57 400	62 933	3 733	4 200	600.0	112 600	29 600	0.214	0.159
KLH 7ss 220 L	10 400	208.0	360.0	25 900	4 420	2 160 000	480 000	50 600	87 000	1733	5 600	400.0	126 100	28 600	0.205	0.155
KLH 7ss 240 L	13 400	448.0	467.0	31 600	4 710	2 400 000	480 000	57 400	111 467	3 733	6 400	600	139 900	29 600	0.226	0.159
KLH 7ss 260 L	16 600	936.0	594.0	27 400	6 600	2 400 000	720 000	64 100	138 667	7 800	7 200	1050	141 300	43 400	0.194	0.152
KLH 7ss 280 L	20 300	1660.0	742.0	25 500	8 840	2 400 000	960 000	70 800	169 067	13 867	8 000	1600	142 200	57 200	0.179	0.155
KLH 8ss 300 L	24 800	2 230.0	913.0	38 700	7 780	2 880 000	720 000	77 600	206 400	18 600	8 800	1650	168 800	45 400	0.229	0.171
KLH 8ss 320 L	29 200	3 580.0	1110.0	35 300	9 410	2 880 000	960 000	84 300	243 200	29 867	9 600	2 400	169 800	59 200	0.208	0.159

Tableau 7 - épaisseur minimale du tablier KLH®-CLT lorsque les nervures sont non appuyées à l'appui**(Les valeurs ci-dessous sont valables uniquement pour une valeur $k_{mod} = 0.8$ et $\gamma_m = 1.25$)**

Epaisseur mini tablier KLH pour des nervures non appuyées								
Effort tranchant V_d max en KN / par nervure	largeur de Nervure en mm							
	60	80	100	120	140	160	180	200
2	KLH 3s 60 L	KLH 3s 60 L	KLH 3s 60 L	KLH 3s 60 L	KLH 3s 60 L	KLH 3s 60 L	KLH 3s 60 L	KLH 3s 60 L
4	KLH 3s 70 L	KLH 3s 60 L	KLH 3s 60 L	KLH 3s 60 L	KLH 3s 60 L	KLH 3s 60 L	KLH 3s 60 L	KLH 3s 60 L
6	KLH 5s 100 L	KLH 3s 80 L	KLH 3s 70 L	KLH 3s 70 L	KLH 3s 60 L	KLH 3s 60 L	KLH 3s 60 L	KLH 3s 60 L
8	KLH 5s 110 L	KLH 5s 100 L	KLH 3s 90 L	KLH 3s 80 L	KLH 3s 70 L	KLH 3s 70 L	KLH 3s 60 L	KLH 3s 60 L
10	KLH 5s 130 L	KLH 5s 120 L	KLH 5s 110 L	KLH 5s 100 L	KLH 3s 90 L	KLH 3s 80 L	KLH 3s 80 L	KLH 3s 70 L
12	KLH 5s 150 L	KLH 5s 130 L	KLH 5s 120 L	KLH 5s 110 L	KLH 5s 100 L	KLH 3s 90 L	KLH 3s 90 L	KLH 3s 80 L
14	KLH 5s 160 L	KLH 5s 150 L	KLH 5s 130 L	KLH 5s 130 L	KLH 5s 120 L	KLH 5s 110 L	KLH 5s 100 L	KLH 3s 90 L
16	KLH 5s 180 L	KLH 5s 160 L	KLH 5s 150 L	KLH 5s 140 L	KLH 5s 130 L	KLH 5s 120 L	KLH 5s 110 L	KLH 5s 100 L
18	KLH 5s 200 L	KLH 5s 180 L	KLH 5s 160 L	KLH 5s 150 L	KLH 5s 140 L	KLH 5s 130 L	KLH 5s 120 L	KLH 5s 110 L
20	-	KLH 5s 200 L	KLH 5s 180 L	KLH 5s 160 L	KLH 5s 150 L	KLH 5s 140 L	KLH 5s 130 L	KLH 5s 120 L
22	-	-	KLH 5s 190 L	KLH 5s 180 L	KLH 5s 160 L	KLH 5s 150 L	KLH 5s 140 L	KLH 5s 130 L
24	-	-	-	KLH 5s 190 L	KLH 5s 170 L	KLH 5s 160 L	KLH 5s 150 L	KLH 5s 140 L
26	-	-	-	-	KLH 5s 190 L	KLH 5s 170 L	KLH 5s 160 L	KLH 5s 150 L
28	-	-	-	-	KLH 5s 200 L	KLH 5s 190 L	KLH 5s 170 L	KLH 5s 160 L
30	-	-	-	-	-	KLH 5s 200 L	KLH 5s 180 L	KLH 5s 170 L
32	-	-	-	-	-	-	KLH 5s 190 L	KLH 5s 180 L
34	-	-	-	-	-	-	-	KLH 5s 190 L

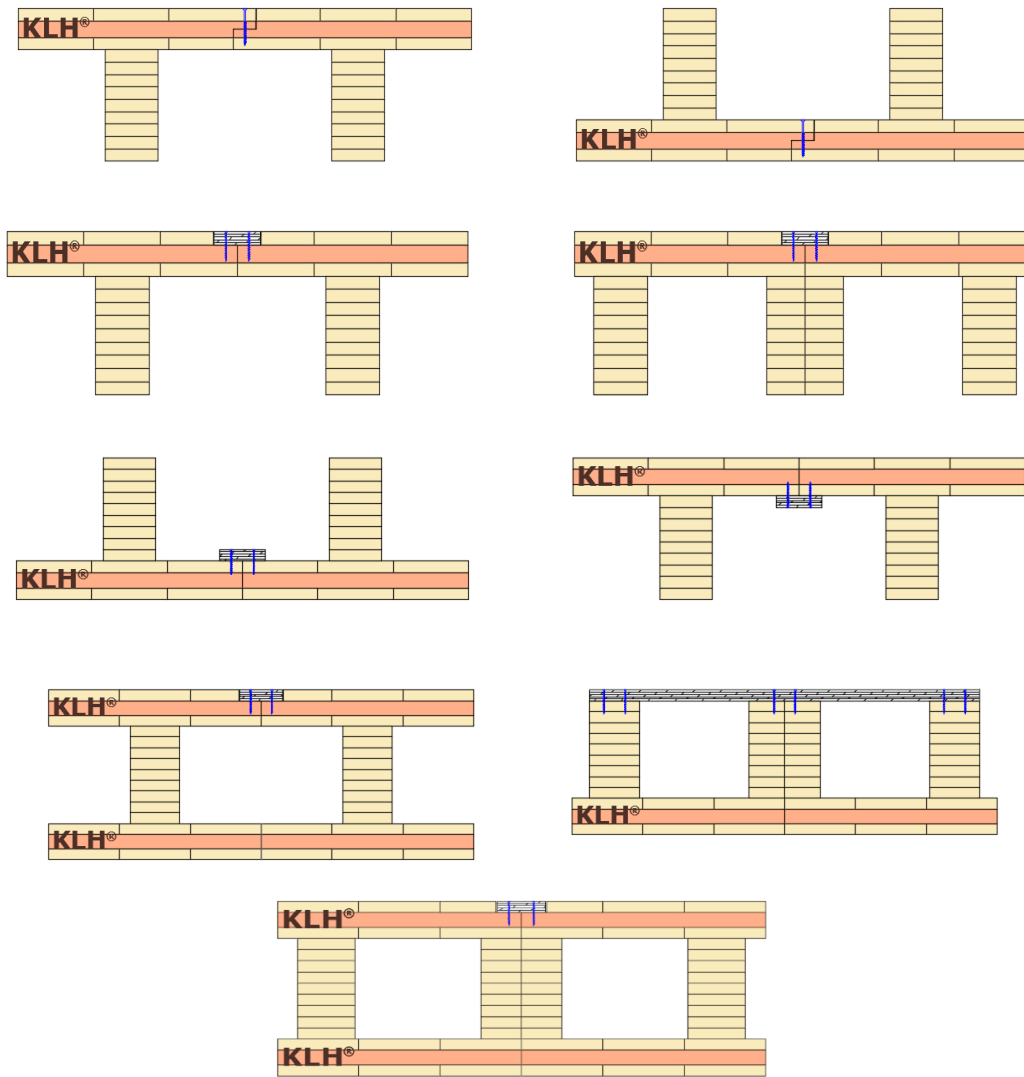


Figure 29 - Liaisons usuelles entre deux éléments KLH®-CLT nervurés

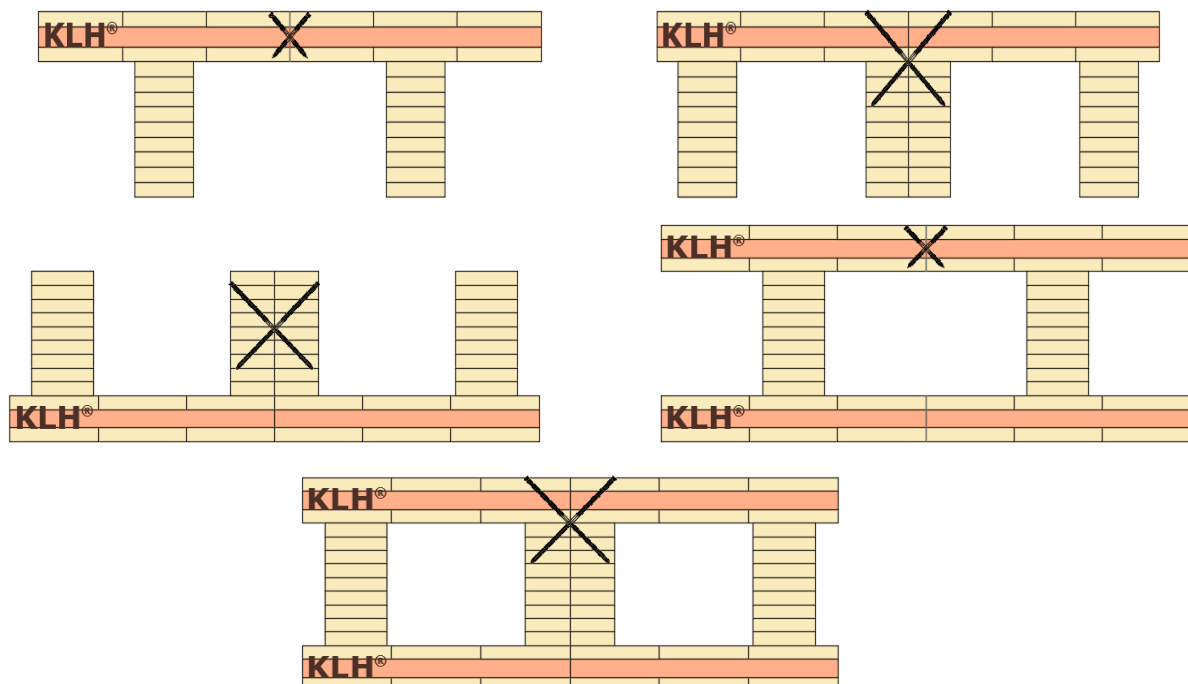


Figure 30 - Assemblage par vis lardées en diagonale

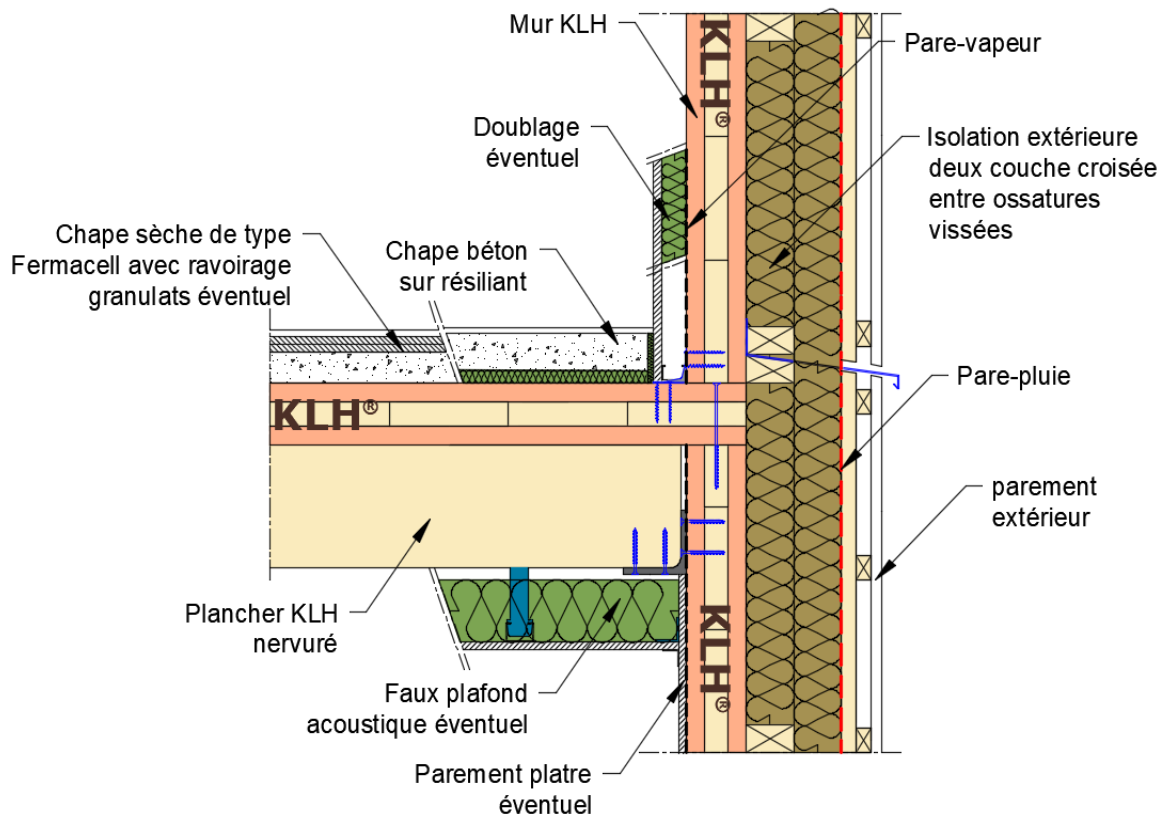


Figure 31 - Exemple de jonction plancher nervuré T reposant Mur extérieur KLH®-CLT non nervuré

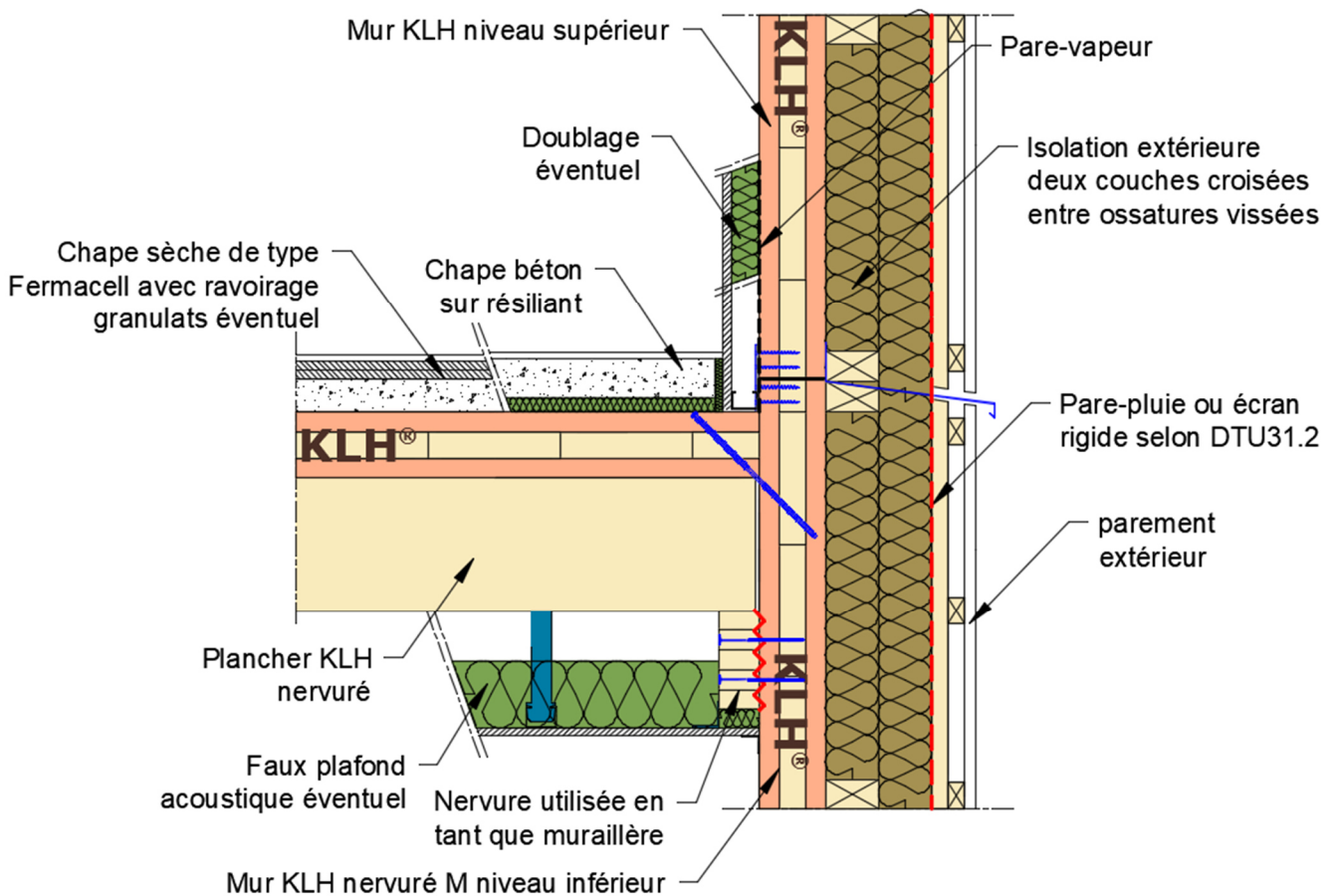


Figure 32 - Exemple de coupe verticale plancher nervuré T reposant sur Mur extérieur KLH®-CLT nervuré T

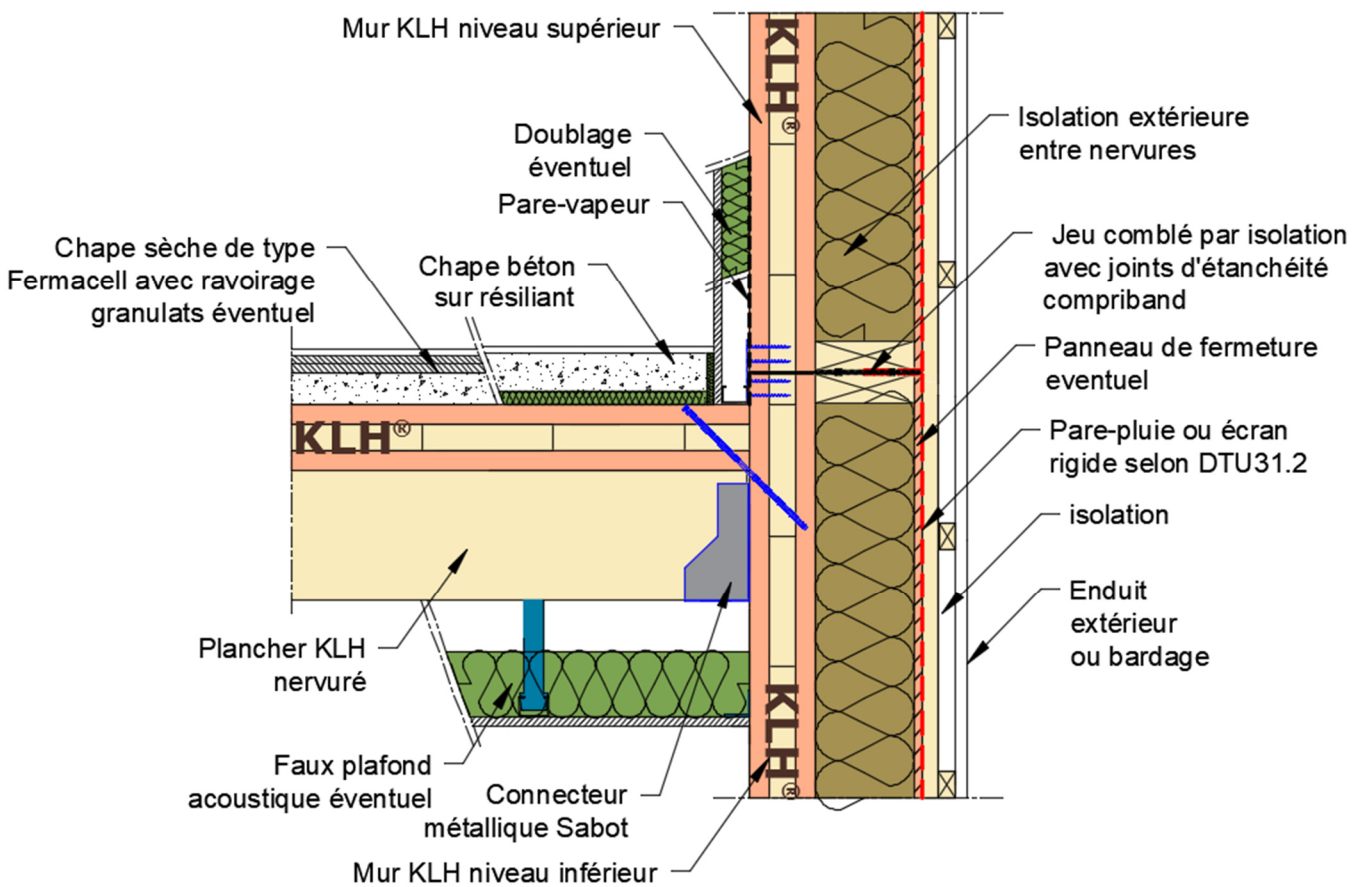


Figure 33 - Exemple de coupe verticale plancher nervuré T reposant sur Mur extérieur KLH®-CLT nervuré T

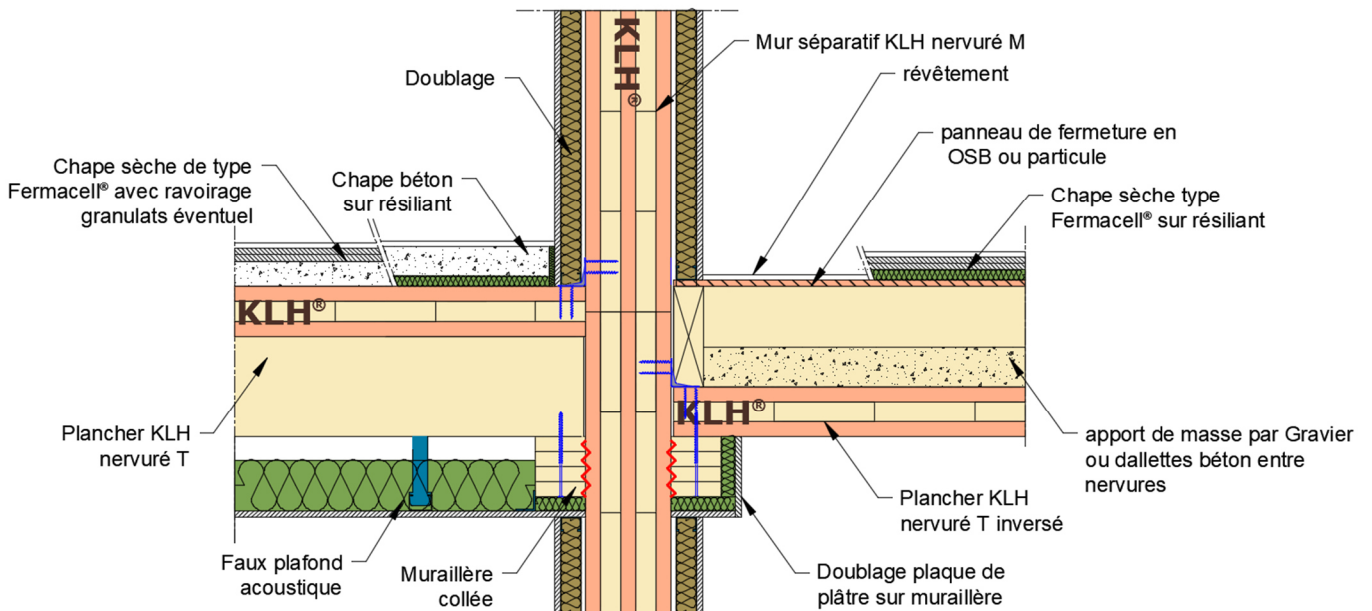


Figure 34 - Exemple de coupe verticale sur locaux mitoyens et superposés avec interruption du plancher nervuré KLH®-CLT T et appui sur mur KLH®-CLT nervuré M - et plancher nervuré KLH®-CLT T inversé à droite avec appui sur mur KLH®-CLT nervuré M

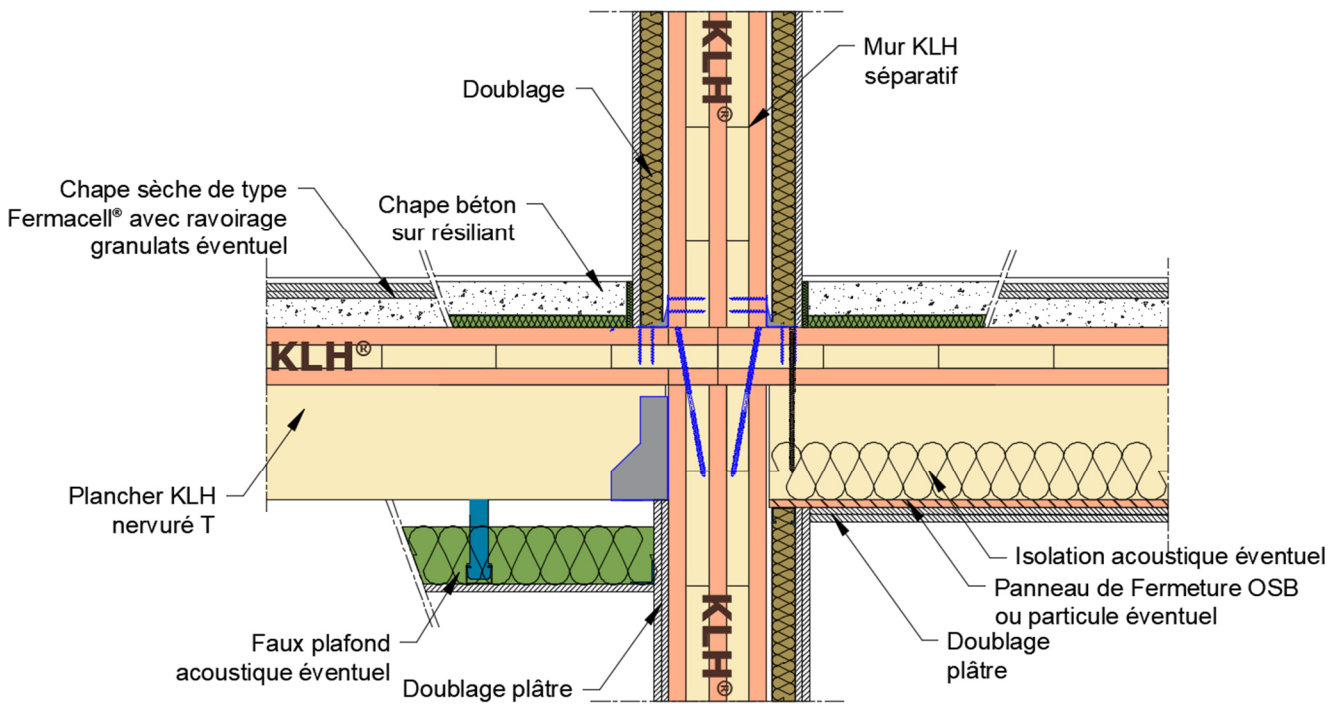


Figure 35 - Exemple de coupe verticale sur locaux mitoyens et superposés avec interruption des nervures et continuité du plancher KLH®-CLT

Appui de nervures réalisées par sabot métallique à gauche et appui suspendu avec vis de frettage à droite

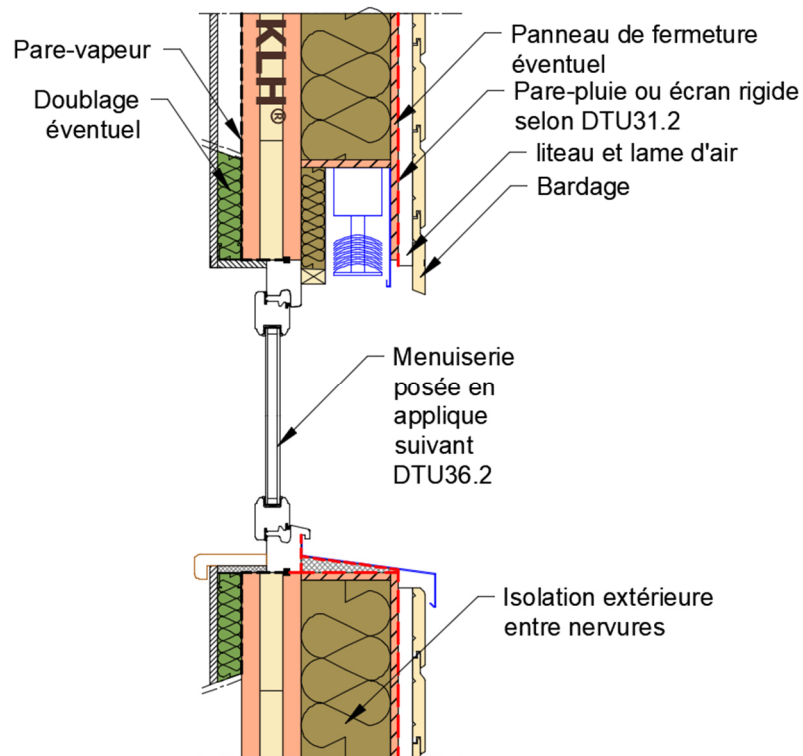


Figure 36 - Exemple d'intégration d'une menuiserie sur un mur KLH®-CLT nervuré

Annexe 1 au Dossier Technique

Exemple de calcul des données de section à mi-travée et à l'appui pour un élément plancher KLH®-CLT Nervuré T reposant sur deux appuis avec charge répartie.

1- Hypothèses

Portée L : 10m

Ep Tablier KLH®-CLT : 150 (40-20-30-20-40)

Section nervures : 160*480mm GL24h

Entraxe nervure b : 1m

Propriétés Tablier KLH®-CLT :

$$E_{\text{mean}} = 12000 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{\text{mean}} = 690 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{R,\text{mean}} = 50 \text{ N/mm}^2$$

Propriétés Nervures :

$$E_{\text{mean}} = 11500 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{\text{mean}} = 650 \text{ N/mm}^2$$

Ratio b_{fi} / L : $(1000-160)/10000 = 0,08$ donc b_{fi} reste compris entre $0,02 < b_{fi} / L \leq 0,25$

Relation portée L / h : $10000/630 = 15,87$ – le rapport est bien compris entre $14 \leq L / h \leq 22$.

2- Données de section à mi-travée

Largeur participante b_{ef}

Rigidité en plan du tablier KLH®-CLT $(EA)_x = 1,32 \cdot 10^6 \text{ kN/m}$

Rigidité en plan du cisaillement KLH®-CLT $S_{xy} = 50600 \text{ kN/m}$

Rigidité en cisaillement du tablier KLH®-CLT $GA_x = 77700 \text{ kN/m}$

$$\text{Largeur participante } b_{ef} = b_{fi} \times \left[0,5 - 0,35 \times \left(\frac{b_{fi}}{L} \right) \times \left(\frac{(EA)_x}{S_{xy}} \right)^{0,4} \right] = 0,84 \times \left[0,5 - 0,35 \times \left(\frac{0,84}{10} \right) \times \left(\frac{1,32 \cdot 10^6}{50600} \right)^{0,4} \right] = 0,329 \text{ m}$$

Largeur participante $b_{ef} = b_{nervure} + \sum b_{ef,i} = 0,160 + 2 \times 0,329 = 0,818 \text{ m}$

Centre gravité de la section $Z_{cg} = \frac{160 \times 480 \times 240 \times 11500 + 818 \times (2 \times 40 + 30) \times (480 + 75) \times 12000}{160 \times 480 \times 11500 + 818 \times (2 \times 40 + 30) \times 12000} = 413,3 \text{ mm}$

Distance $e_1 = 413,3 - \frac{480}{2} = 173,3 \text{ mm}$

Distance $e_2 = 480 + \frac{150}{2} - 413,3 = 141,7 \text{ mm}$

Rigidité de flexion (EI) $= E_{\text{mean,nervure}} \times \left[\frac{b_{nervure} \times h_{nervure}^3}{12} + b_{nervure} \times h_{nervure} \times e_1^2 \right] + E_{\text{mean,CLT}} \times \left[\frac{b_{ef} \times p_1^3}{12} + \frac{b_{ef} \times p_3^3}{12} + \frac{b_{ef} \times p_5^3}{12} + b_{ef} \times p_1 \times \left(h_{KLH} - \frac{p_1}{2} + h_{nervure} - z_{cg} \right)^2 + b_{ef} \times p_3 \times \left(h_{KLH} - p_1 - p_2 - \frac{p_3}{2} + h_{nervure} - z_{cg} \right)^2 + b_{ef} \times p_5 \times \left(\frac{p_5}{2} + h_{nervure} - z_{cg} \right)^2 \right]$

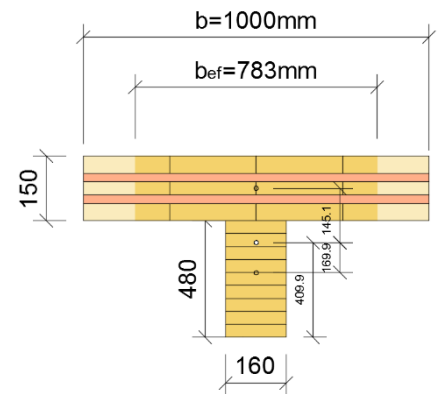
Rigidité de flexion (EI) $= 11500 \times \left[\frac{160 \times 480^3}{12} + 160 \times 480 \times 173,3^2 \right] + 12000 \times \left[\frac{818 \times 40^3}{12} + \frac{818 \times 30^3}{12} + \frac{818 \times 40^3}{12} + 818 \times 40 \times \left(150 - \frac{40}{2} + 480 - 413,3 \right)^2 + 818 \times 30 \times \left(150 - 40 - 20 - \frac{30}{2} + 480 - 413,3 \right)^2 + 818 \times 40 \times \left(\frac{40}{2} + 480 - 413,3 \right)^2 \right] = 6,766 \times 10^{13} \text{ N.mm}^2$

Rigidité de cisaillement (GA)

Coefficient correctif de cisaillement $K = \frac{5}{6} - \frac{1}{4} \times \left(\frac{818}{160} \right)^{0,7} \times \left(\frac{480}{150} \right)^{0,5} = 0,395$

$(GA) = K \times \left[\sum_{i=1,3,5} GA_x \times b_{ef} + G_{\text{mean,nervure}} \times b_{nervure} \times h_{nervure} \right]$

$(GA) = 0,395 \times [77700 \times 818 + 650 \times 160 \times 480] = 4,487 \times 10^7 \text{ N}$



1- Données de section à l'appui

Largeur participante $b_{ef} = b_{nervure} = 160 \text{ mm}$

Centre gravité de la section $Z_{cg} = \frac{160 \times 480 \times 240 \times 11500 + 160 \times (40 + 30 + 40) \times (480 + 75) \times 12000}{160 \times 480 \times 11500 + 160 \times (40 + 30 + 40) \times 12000} = 300,8 \text{ mm}$

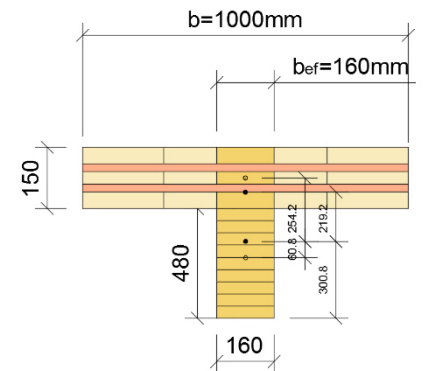
Distance $e_1 = 300,8 - \frac{480}{2} = 60,8 \text{ mm}$

Distance $e_2 = 480 + \frac{150}{2} - 300,8 = 254,2 \text{ mm}$

Rigidité de flexion (EI) $= 11500 \times \left[\frac{160 \times 480^3}{12} + 160 \times 480 \times 60,8^2 \right] + 12000 \times \left[\frac{160 \times 40^3}{12} + \frac{160 \times 30^3}{12} + \frac{160 \times 40^3}{12} + 160 \times 40 \times \left(150 - \frac{40}{2} + 480 - 300,8 \right)^2 + 160 \times 30 \times \left(150 - 40 - 20 - \frac{30}{2} + 480 - 300,8 \right)^2 + 160 \times 40 \times \left(\frac{40}{2} + 480 - 300,8 \right)^2 \right] = 3,436 \times 10^{13} \text{ N.mm}^2$

Moment statique au centre de gravité $S_{Z(+300,8)} = \left[E_{\text{nervure}} \times b_{ef} \times \left(h_{nervure} - z_{cg} \right) \times \left(\frac{h_{nervure} - z_{cg}}{2} \right) + E_{\text{CLT}} \times b_{ef} \times p_5 \times \left(h_{nervure} - z_{cg} + \frac{p_5}{2} \right) + E_{\text{CLT}} \times b_{ef} \times p_3 \times \left(h_{nervure} - z_{cg} + p_5 \times \frac{p_3}{2} + \frac{p_3}{2} \right) + E_{\text{CLT}} \times b_{ef} \times p_1 \times \left(h_{KLH} + h_{nervure} - z_{cg} - \frac{p_1}{2} \right) \right] \div E_{\text{ref}} = \left[11500 \times 160 \times (480 - 300,8) \times \left(\frac{480 - 300,8}{2} \right) + 12000 \times 160 \times 40 \times \left(480 - 300,8 + \frac{40}{2} \right) + 12000 \times 160 \times 30 \times \left(480 - 300,8 + 40 + 20 + \frac{30}{2} \right) + 12000 \times 160 \times 40 \times \left(150 + 480 - 300,8 - \frac{40}{2} \right) \right] \div 12000 = 6,936 \times 10^6 \text{ mm}^3$

Moment statique dans le tablier KLH au niveau du premier pli transversal $S_{Z(-219,2)} = b_{ef} \times p_3 \times \left(h_{nervure} - z_{cg} + \frac{p_3}{2} \right) + b_{ef} \times p_1 \times \left(e_2 + \frac{p_1}{2} + p_2 \right) + \frac{p_1 \times h_{KLH}}{2} = 160 \times 30 \times 254,2 + 160 \times 40 \times (254,2 + 15 + 20 + 20) = 3,199 \times 10^6 \text{ mm}^3$



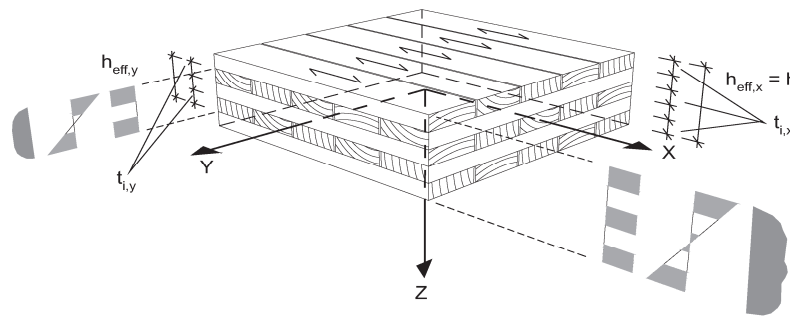
Annexe 2 au Dossier Technique – données d’entrées pour les modélisations de panneaux KLH®-CLT aux éléments finis.

1- Définition des matrices de rigidité

Le lien entre les déformations d’un panneau KLH®-CLT et les forces internes est établi via les rigidités des éléments de la coque. Celles-ci sont présentées sous la forme d’une matrice. La matrice de rigidité d’un panneau KLH®-CLT comme panneau et plaque orthotrope est présentée ci-après :

	Panneau - Flexion			Panneau - cisaillement			membrane			
$\begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_{xy} \\ v_x \\ v_y \\ n_x \\ n_y \\ n_{xy} \end{bmatrix}$	D_{11}	0	0	0	0	0	0	0	0	$\begin{bmatrix} k_x \\ k_y \\ k_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \\ \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix}$
	0	D_{22}	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	D_{33}	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	D_{44}	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	D_{55}	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	D_{66}	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	D_{77}	0	0	
	0	0	0	0	0	0	...	D_{88}	0	

Les deux directions principales porteuses x et y sont définies comme le présente l’image ci-dessous :

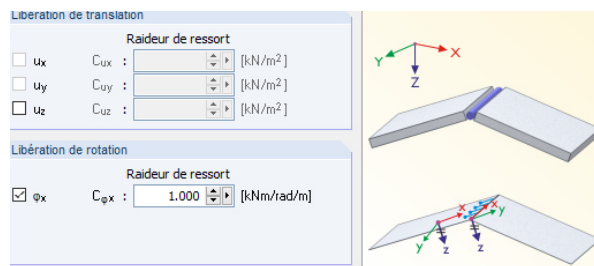


Les coefficients D11 à D88 de la matrice de rigidités sont rassemblés au tableau n°7 du dossier technique.

- D11 correspond à la rigidité de flexion EI_x suivant l’axe principal x en kN.m² pour une largeur de panneau de 1 m
- D22 correspond à la rigidité de flexion EI_y suivant l’axe principal y en kN.m² pour une largeur de panneau de 1 m
- D33 correspond à la rigidité de torsion GI_{xy} en kN.m² pour une largeur de panneau de 1 m
- D44 correspond à la rigidité de cisaillement GA_{KLH,x} suivant l’axe principal x en kN pour une largeur de panneau de 1 m
- D55 correspond à la rigidité de cisaillement GA_{KLH,y} suivant l’axe principal y en kN pour une largeur de panneau de 1 m
- D66 correspond à la rigidité de traction EA_x suivant l’axe principal x en kN pour une largeur de panneau de 1 m
- D77 correspond à la rigidité de traction EA_y suivant l’axe principal x en kN pour une largeur de panneau de 1 m
- D88 correspond à la rigidité de cisaillement à chant GA_{x,y} en kN pour une largeur de panneau de 1 m

2- Modélisation des jonctions entre panneaux

La modélisation des jonctions entre panneaux est fonction de la conception retenue mais en règle générale, aucune transmission de moment entre deux panneaux latéraux n’est considérée. Une articulation linéique est alors créée sur le logiciel avec rotation libre autour de l’axe de la jonction.



Pour les modélisations en diaphragme, les raideurs de jonction doivent être intégrées au modèle. Les raideurs de liaison k_{ser} pour les vérifications à ELS et k_u pour les vérifications à l’ELU se déterminent d’après la norme NF EN 1995-1-1 ou selon l’ETE du connecteur utilisé. Celles-ci sont à renseigner par mètre linéaire.

3- Recommandations pour les modélisations

Dans la plupart des solutions logicielles pour les sections générales aux couches, le facteur de torsion n’est pas automatiquement pris en compte et doit être saisi manuellement. La résistance à la torsion doit toutefois rester dans les limites de modélisation à 50% de la résistance à la torsion totale. Pour les éléments sensibles aux déformations, tels que les panneaux en porte-à faux dans les 2 sens, il y a lieu de ramener la résistance à la torsion dans les limites de modélisation à 40%.

3. Annexe utilisation en support d'étanchéité

3.1. Généralités

3.1.1. Principe

Les éléments KLH®-CLT nervurés sont constitués de panneaux structuraux KLH®-CLT renforcés par des poutres bois jouant le rôle de nervures.

Les profils des éléments KLH®-CLT nervurés sont :

- Élément KLH®-CLT nervuré ouvert (KLH®-CLT nervuré T) : constitué de nervures en bois lamellé collé et d'un tablier supérieur en panneau KLH®-CLT
- Élément KLH®-CLT nervuré ouvert inversé (KLH®-CLT nervuré T inversé) : constitué d'un panneau de fermeture à base de bois conforme aux recommandations professionnelles PACTE « Toitures-terrasses accessibles aux piétons avec élément porteur en bois et panneaux à base de bois avec revêtement d'étanchéité » (panneaux de contreplaqué certifiés NF Extérieur CTB-X ou panneaux de particules certifiés CTB-H ou panneaux OSB/3 certifiés CTB Panneaux de process), de nervures en bois lamellé collé et d'un tablier inférieur en panneau KLH®-CLT type L ou Q.
- Élément KLH®-CLT nervuré caisson (KLH®-CLT caisson H) : constitué de nervures en bois lamellé collé et d'un tablier supérieur et inférieur en panneau KLH®-CLT type L ou Q.

Les éléments KLH®-CLT nervuré caisson (KLH®-CLT caisson H) et nervuré T inversé avec panneau de fermeture utilisés en support de toiture peuvent contenir une isolation mise en œuvre soit partiellement soit intégralement sur la hauteur des nervures :

- En panneaux en laine minérale semi-rigide conformes au NF DTU 45.10, certifiés ACERMI WS, T2 et semi-rigide (cf. § 3.5),
- En fibres de bois bénéficiant d'un AT/DTA pour l'emploi en isolation thermique de comble sous rampant (cf. § 3.5), listés ci-après :
 - 20/19-431_V1 « Gamme FLEX ISONAT : ISONAT Flex 40 et Flex 55 plus H Application combles »,
 - 20/20-466_V1 « Pavaflex – Application en combles »,
 - 20/20-469_V1 « STEICOflex F – Combles ».

Les panneaux isolants sont posés, en atelier, en une ou plusieurs couches disposées entre nervures, serrée mais non comprimé dans son épaisseur et sur toute sa périphérie.

La largeur maximale de l'isolant correspond à l'entraxe entre-nervures et les largeurs/longueurs sont découpés aux dimensions de la cavité augmentée de 5mm avec une tolérance de 0 à +5mm sur cette surcote, de manière à réaliser un contact continu entre les nervures et l'isolant sur toute la périphérie.

Les panneaux isolants sont bloqués en extrémité par une nervure de fermeture ou un panneau à base de bois.

Le procédé « Éléments KLH®-CLT nervurés » est utilisé comme élément porteur pouvant être support d'étanchéité selon le e-Cahier du CSTB n°3814, complété des prescriptions particulières suivantes :

- Dispositions de protection de l'ouvrage en phase chantier (cf. § 2.9.4.3) ;
- En terrasses à élément porteur à pente nulle avec isolant FOAMGLASS TAPERED penté (cf. § 3.4) ;
- En climat de montagne (cf. § 3.6).

3.1.2. Destination d'emploi

Les éléments KLH®-CLT nervurés sont utilisés en travaux neufs :

- Sur tous types de construction.
- En France métropolitaine en climat de plaine et de montagne, hors DROM.
- En toitures :
 - Inaccessibles, avec chemins de circulation éventuels, sans terrasses à rétention temporaire des eaux pluviales,
 - Inaccessibles avec procédés d'étanchéité avec films photovoltaïques souples bénéficiant d'un Avis Technique,
 - À zones techniques, sans chemins de roulement des appareils d'entretien de façades,
 - Végétalisées de pente minimum 3 %,
 - Accessibles aux piétons et au séjour avec une protection par dalles sur plots ou par platelage bois selon le § 3.3.

Les toitures-terrasses à rétention temporaire des eaux pluviales ne sont pas revendiquées.

- Sous des systèmes d'étanchéité :
 - En toitures froides avec protection meuble rapportée, uniquement en bâtiments non isolés ouverts et ventilés par l'air extérieur (seuls les éléments KLH®-CLT nervurés ouvert KLH®-CLT Nervuré T sont envisagés, cf. § 3.2.6) ou en toitures chaudes,
 - Avec un revêtement d'étanchéité indépendant, semi-indépendant ou adhérent,
 - En apparent (hors toitures froides- bâtiment ouvert non isolé) ou sous protection lourde,
 - En asphalte ou mixte sous asphalte bénéficiant d'un Avis Technique, en feuilles bitumineuses ou en membranes synthétiques bénéficiant d'un Document Technique d'Application.

Le procédé « Eléments KLH®-CLT nervurés » vise également les toitures-terrasses inversées (hors toitures accessibles aux piétons), lorsqu'il est associé à un panneau isolant de polystyrène extrudé bénéficiant d'un certificat ACERMI et respectant les prescriptions des Règles professionnelles Isolation inversée de toiture-terrasse (juin 2021).

Les pentes sur plan des toitures inaccessibles, techniques et accessibles aux piétons sont dépendantes du critère de dimensionnement choisi :

- $\geq 3 \%$, lorsque les éléments KLH®-CLT nervurés sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges, limité au $1/250^e$ de la portée,
- $\geq 1,8 \%$, lorsque les éléments KLH®-CLT nervurés sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges, limité au $1/400^e$ de la portée,
- $\geq 1,6 \%$, lorsque les éléments KLH®-CLT nervurés sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges, limité au $1/500^e$ de la portée,
- $\geq 3 \%$ pour les terrasses et toitures végétalisées.

Sont également visés les toitures-terrasses (hors toitures végétalisées), avec élément porteur à pente nulle, avec isolation support d'étanchéité en Foamglas Tapered collé en plein à l'EAC, en France métropolitaine (hors DOM) en climat de plaine, selon les dispositions définies au § 3.4.

3.2. Prescriptions relatives aux toitures inaccessibles, techniques et végétalisées

3.2.1. Généralités

Conformément au e-Cahier du CSTB n°3814, le support d'étanchéité peut être constitué :

- De panneaux structuraux KLH®-CLT pour les éléments KLH®-CLT T (en toiture froide ou en isolation inversée) ou caisson H (uniquement en isolation inversée),

Ou

- D'un panneau à base de bois conformes aux recommandations professionnelles PACTE « Toitures-terrasses accessibles aux piétons avec élément porteur en bois et panneaux à base de bois avec revêtement d'étanchéité » (panneaux de contreplaqué certifiés NF Extérieur CTB-X ou panneaux de particules certifiés CTB-H ou panneaux OSB/3 certifiés CTB Panneaux de process) pour les éléments KLH®-CLT nervuré T inversés (uniquement en isolation inversée).

Ou

- D'un panneau isolant.

Conformément au e-cahier CSTB 3814, une acceptation du support est nécessaire avant la mise en œuvre du complexe d'étanchéité (cf. § 3.9).

Les points suivants doivent être observés :

- Planéité du plan de pose avec notamment limitation du désaffleurement entre deux panneaux $< 2 \text{ mm}$ et ouverture entre deux panneaux $< 10 \text{ mm}$;
- Rebouchage des trous laissés par les fixations des ancrages ayant permis la manipulation des panneaux, si leur diamètre est supérieur à 10 mm ;
- Désaffleurement non admis pour les têtes de fixation des panneaux ;
- Respect de la pente prescrite par le présent document ;
- Contrôle de la siccité du support.

Les supports destinés à recevoir les revêtements d'étanchéité doivent être stables et plans, présenter une surface propre, libre de tout corps étranger et sans souillure d'huile, plâtre, hydrocarbures, etc.

Les éléments KLH®-CLT nervurés sont préparés conformément aux dispositions du Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité avec application préalable d'un EIF.

3.2.2. Stockage, approvisionnement

3.2.2.1. Stockage au sol

a) Eléments KLH®-CLT nervurés : se reporter au § 2.9.4 du Dossier Technique ;

b) Complexes d'étanchéité : se reporter au Document Technique d'Application des panneaux isolants ou aux Règles Professionnelles Isolants supports d'étanchéité en indépendance sous protection lourde (juillet 2021) ou Isolation inversée de toiture-terrasse (juin 2021) et à celui du revêtement d'étanchéité, et à l'Avis Technique du procédé de végétalisation.

3.2.2.2. Approvisionnement en toiture

Le poids des matériaux nécessaires aux travaux d'étanchéité à stocker sur la toiture en éléments KLH®-CLT nervurés, est communiqué par le lot Étanchéité au maître d'ouvrage, assisté de son maître d'œuvre.

3.2.3. Isolants thermiques non porteurs supports d'étanchéité

Sont admis les panneaux isolants mentionnés ci-dessous dans les conditions de leur Document Technique d'Application particulier ou des Règles Professionnelles Isolants supports d'étanchéité en indépendance sous protection lourde (juillet 2021), et le liège aggloméré expansé pur dans les conditions du NF DTU 43.4 P1.

3.2.3.1. Nature des isolants thermiques

En complément du liège normalisé, les isolants thermiques possibles sont :

- La laine de verre, nue ou parementée, uniquement en toitures inaccessibles ;

- La laine de roche, nue ou parementée ;
- Le verre cellulaire ;
- La perlite expansée (fibrée) ;
- Le polyuréthane parementé ;
- Le polyisocyanurate parementé ;
- Le polystyrène expansé ;
- Le polystyrène extrudé, uniquement pour les isolations inversées.

Ils sont définis par leurs Documents Techniques d'Application particuliers favorables pour l'emploi sur élément porteur bois et panneaux à base de bois ou par les Règles Professionnelles Isolants supports d'étanchéité en indépendance sous protection lourde (juillet 2021).

Cas particuliers

a) Panneaux de laine de roche ; dans le cas :

- Des toitures à zones techniques,
- Des fonds et parois de chéneaux,

Les panneaux isolants doivent être de Classe C (Guide UEAtc).

En terrasses et toitures végétalisées, les panneaux isolants doivent être certifiés ACERMI, répondre aux exigences des Règles Professionnelles Isolants supports d'étanchéité en indépendance sous protection lourde (juillet 2021).

b) Panneaux de polystyrène expansé ; dans le cas :

- Des toitures à zones techniques,
- Des fonds et parois de chéneaux,

Les panneaux isolants doivent être de Classe C (Guide UEAtc).

3.2.3.2. Composition du pare-vapeur

Ce paragraphe ne s'applique pas dans le cas des toitures avec isolation inversée.

Le pare-vapeur est mis en œuvre conformément au :

- NF DTU 43.4 P1 ;
- Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité visant favorablement l'élément porteur bois ou panneaux à base de bois.

Il peut être posé :

- Collé à l'EAC exempt de bitume oxydé visé dans un DTA de revêtement d'étanchéité, avec bande de pontage entre éléments KLH®-CLT nervurés ;
- Libre et sous protection rapportée, pour les surfaces et dépressions au vent extrême autorisées par le Document Technique d'Application des panneaux isolants ;
- Libre sous des panneaux isolants et/ou un revêtement d'étanchéité fixé mécaniquement ;
- Autoadhésif en semi-indépendance ou en adhérence totale, avec bande de pontage entre éléments KLH®-CLT nervurés selon le Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité.

3.2.3.3. Technique de mise en œuvre de l'isolant support d'étanchéité

Les panneaux isolants sont mis en œuvre :

- Sous revêtement apparent conformément à leur Document Technique d'Application visant favorablement l'élément porteur bois ou panneaux à base de bois,
- Sous revêtement sous protection lourde conformément aux Règles Professionnelles Isolants supports d'étanchéité en indépendance sous protection lourde (juillet 2021).

Ils peuvent être posés :

- Collés à l'EAC exempt de bitume oxydé visé dans un DTA de revêtement d'étanchéité, selon le NF DTU 43.4 P1 et le Document Technique d'Application particuliers des panneaux isolants ;
- Fixés mécaniquement, selon le NF DTU 43.4 P1 et le Document Technique d'Application particuliers des panneaux isolants ;
- Libres et sous protection rapportée, pour les surfaces et dépressions au vent extrême autorisées par le Document Technique d'Application des panneaux isolants ;
- Collés à froid, sous protection lourde et en système autoprotégé, selon les Documents Techniques d'Application particuliers des panneaux isolants et des revêtements d'étanchéité.

Cas particuliers de la toiture inversée (hors terrasse accessible aux piétons)

Les panneaux isolants de polystyrène extrudé sont toujours posés libres.

3.2.4. Revêtements d'étanchéité

3.2.4.1. Généralités sur les revêtements d'étanchéité

Le choix du type de revêtement d'étanchéité est fonction de la destination des toitures, du support isolant et de la protection rapportée éventuelle.

3.2.4.2. Systèmes de pose en partie courante

Les revêtements d'étanchéité sont mis en œuvre conformément à leur Document Technique d'Application visant favorablement la destination de la toiture.

Les revêtements d'étanchéité peuvent être mis en œuvre :

- a) En indépendance, toujours sous une protection lourde rapportée, selon le NF DTU 43.4 P1 et les Documents Techniques d'Application particuliers des revêtements d'étanchéité.
- b) En semi-indépendance selon le Document Technique d'Application particulier du support isolant éventuel et du revêtement d'étanchéité visant l'élément porteur bois et panneaux à base de bois.
- c) En adhérence totale selon le Document Technique d'Application particulier du support isolant éventuel et du revêtement d'étanchéité.

3.2.4.3. Traitement des relevés

Les relevés sont réalisés selon :

- Le NF DTU 43.4 P1,
- Le Document Technique d'Application particulier des revêtements d'étanchéité,

3.2.5. Protections

3.2.5.1. Protection meuble pour terrasses inaccessibles et les zones techniques

La protection meuble, les dalles préfabriquées sur couche de désolidarisation des chemins de circulation et des zones techniques, sont réalisées selon le :

- NF DTU 43.4 P1 ;
- Document Technique d'Application particulier des revêtements d'étanchéité.

3.2.5.2. Terrasses et toitures végétalisées

La protection des toitures végétalisées est réalisée à la fois selon :

- Le Document Technique d'Application particulier des revêtements d'étanchéité ;
- Et l'Avis Technique du procédé de végétalisation.

3.2.6. Dispositions particulières pour les toitures froides

En terrasses inaccessibles et techniques sous protection lourde, ou végétalisées, les éléments KLH®-CLT nervurés peuvent être utilisés en toiture froide en constituant le support direct du revêtement d'étanchéité sous protection lourde en respectant le §3.2.4.2.

Seuls les éléments KLH nervurés ouvert KLH®-CLT Nervuré T sont envisagés.

La pente minimale est de 3% sur plan.

Cette conception est limitée aux bâtiments non isolés et non chauffés, ouverts sur l'extérieur.

3.3. Dispositions relatives aux terrasses accessibles aux piétons et au séjour

3.3.1. Généralités

Conformément au e-Cahier du CSTB n°3814, en terrasses accessibles aux piétons et au séjour, l'ouvrage de toiture est constitué de la manière suivante :

- Élément KLH®-CLT nervuré T, T inversé ou caisson H pentés (cf. § 3.1.2) ;
- Couche de protection de l'élément porteur servant de pare-vapeur ;
- Isolation thermique ;
- Revêtement d'étanchéité monocouche en bitume modifié ou PVC-P, ou bicouche en bitume modifié.

Identifiés selon les paragraphes ci-après.

Les supports destinés à recevoir les revêtements d'étanchéité doivent être stables et plans, présenter une surface propre, libre de tout corps étranger et sans souillure d'huile, plâtre, hydrocarbures, etc.

3.3.2. Couche de protection de l'élément porteur

L'élément porteur KLH®-CLT nervuré reçoit, après pontage des joints si l'ouverture du joint entre languette et panneaux est supérieure à 2 mm, une feuille monocouche en bitume SBS ou APP, faisant l'objet d'un DTA en tant que revêtement d'étanchéité visant la pose directe sur supports à base de bois. Cette feuille est mise en œuvre par soudage au chalumeau à flamme en pleine adhérence, avec une largeur de recouvrement des lès conforme à son DTA.

Cette couche de protection fait office de pare-vapeur.

En variante, un revêtement d'étanchéité bicouche en bitume modifié SBS ou APP, faisant l'objet d'un DTA visant les supports à base de bois, peut être également utilisé. Ce revêtement bicouche est mis en œuvre en adhérence totale par auto-adhésivité ou soudage au chalumeau à flamme (avec une largeur de recouvrement des lès de 6 cm minimum).

La couche de protection est relevée en acrotère et en points singuliers, selon les prescriptions de son DTA, jusqu'au revêtement d'étanchéité (cf. figures A.8 et A.10).

3.3.3. Isolant thermique non porteur support d'étanchéité

Sont admis les panneaux isolants thermiques faisant l'objet d'un certificat ACERMI et répondant aux Règles Professionnelles Isolants supports d'étanchéité en indépendance sous protection lourde (juillet 2021), à l'exclusion de la pose par fixations mécaniques, sur éléments porteurs en maçonnerie, en terrasses accessibles avec protection par dalles sur plots ou par platelage bois, de nature ci-après :

- Verre cellulaire ;
- Polyuréthane parementé ;
- Polyisocyanurate parementé ;
- Polystyrène expansé ;
- Perlite expansée fibrée

Dans le cas du verre cellulaire, la finition de la couche de protection sera grésée ou sablée.

3.3.4. Revêtement d'étanchéité

Sont admis les revêtements d'étanchéité faisant l'objet d'un DTA pour l'emploi sur élément porteur en maçonnerie, en terrasses accessibles avec protection par dalles sur plots ou par platelage bois conformes aux « Règles Professionnelles pour la conception et la réalisation des toitures-terrasses et balcons étanchés avec protection par platelage en bois » (CSFE Juin 2017) :

- En monocouche en bitume modifié SBS ou APP ;
- En monocouche en PVC-P ;
- En bicouche en bitume modifié SBS ou APP.

Les revêtements peuvent être mis en œuvre :

- En indépendance selon le NF DTU 43.4 P1 ;
- En semi-indépendance :
 - Par collage à froid,
 - Par soudage à la flamme à travers un écran perforé,
 - Selon le Document Technique d'Application particulier du support isolant éventuel et du revêtement d'étanchéité ;
- En adhérence totale :
 - Par autoadhésivité (collage à froid),
 - Par soudage à la flamme selon le NF DTU 43.4 P1.

Selon les Règles Professionnelles Isolants supports d'étanchéité en indépendance sous protection lourde (juillet 2021) et le DTA du revêtement d'étanchéité.

3.3.5. Traitement des relevés

La couche de protection (cf. § 3.3.2) est relevée suffisamment pour permettre un recouvrement avec le revêtement d'étanchéité d'au moins 6 cm (cf. figures A.8 et A.10).

Le relevé étanché protégé par une bande solin est placé derrière un bardage étanche à l'eau.

Les documents particuliers du marché (DPM) doivent indiquer la composition de ce bardage et identifier le lot concerné par cet ouvrage.

3.3.6. Protections

3.3.6.1. Protection par dalles sur plots

La protection par dalles sur plots est réalisée selon le :

- Paragraphe 6.6.3.3 de la norme NF DTU 43.1 P1 ;
- Le Document Technique d'Application particulier des revêtements d'étanchéité visant l'élément porteur en maçonnerie.

3.3.6.2. Protection par platelage bois

La protection par platelage bois est réalisée selon :

- Les Règles Professionnelles pour la conception et la réalisation des toitures-terrasses et balcons étanchés avec protection par platelage en bois (CSFE Juin 2017).
- Le Document Technique d'Application particulier des revêtements d'étanchéité visant l'élément porteur en maçonnerie.

3.3.7. Dispositions de contrôle par manchons

Les descentes d'eau pluviales doivent être visibles par l'occupant et permettre d'alerter les occupants d'une infiltration d'eau éventuelle.

Elles sont traitées par un manchon relié à la couche de protection soudée aux éléments KLH®-CLT nervurés et une descente reliée au revêtement d'étanchéité sous les dalles sur plots ou sous le platelage bois (cf. fig. A.9).

3.4. Cas des terrasses avec élément porteur pente nulle, avec isolant FOAMGLAS penté, en climat de plaine (cf. Fig. A.10)

En France métropolitaine (hors DROM) en climat de plaine, en toitures-terrasses inaccessibles, techniques (hors toitures végétalisées) et accessibles aux piétons et au séjour, est également envisagé le cas de l'élément porteur KLH®-CLT nervuré T (uniquement le profil T ou caisson H) à pente nulle.

Elément porteur

Dans cette configuration, l'élément porteur en panneaux structuraux KLH®-CLT nervuré T est posé sur des appuis rigides. Les appuis rigides sont des appuis périphériques du bâtiment ou intermédiaires dont la raideur verticale est suffisamment importante.

Deux types d'appuis sont réputés rigides dans ce document :

- Murs de façade/long pans ou refends, tous porteurs et rejoignant en continuité les fondations.
- Poutres porteuses de portée limitée à 9 mètres s'appuyant sur les éléments ci-avant ou sur des poteaux porteurs filants jusqu'aux fondations. Pour ces poutres, la flèche nette finale $w_{net,fin}$ est limitée à $L/500$ ou 10 mm selon le minimum observé des deux valeurs.
- Les éléments KLH®-CLT nervurés T sont dimensionnés en tenant compte :
- D'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges, limité au $1/500e$ de la portée,
- D'une valeur du facteur de déformation k_{def} définie dans la norme NF EN 1995-1-1 :2005 pour une classe de service 2.

Toiture

Quelle que soit la destination de toiture, les éléments KLH®-CLT nervurés T reçoivent :

- En terrasse inaccessible et technique, comme spécifié dans l'Avis Technique Foamglas® Tapered, une feuille bitumineuse, face supérieure grésée, soudée en pleine adhérence sur le panneau KLH®-CLT, avec une largeur de recouvrement des lès conforme à son DTA ;
- En terrasse accessible aux piétons, une couche de protection, face supérieure grésée, soudée en pleine adhérence sur le panneau KLH®-CLT (cf. §3.3.2) ;
- Un isolant support d'étanchéité en verre cellulaire penté d'au moins 1,6 %, référencé Foamglas® Tapered, collé en plein à l'EAC, faisant l'objet d'un Avis Technique pour son emploi en toiture ;
- Un revêtement bicouche en bitume modifié soudé sur EAC refroidi.

L'éventuelle protection lourde est mise en œuvre sur le revêtement.

La zone de toiture dispose, a minima, de deux descentes pluviales de section conforme à l'annexe C du DTU 20.12.

Evacuation des eaux pluviales

Les dispositifs d'évacuation des eaux pluviales sont implantés selon l'annexe D du e-Cahier du CSTB n°3814.

Dispositifs de contrôle

Les dispositifs de contrôle sont réalisés comme décrits au §3.3.7.

3.5. Habillage ou plafond suspendu

Conformément au e-cahier du CSTB n°3814, les éléments KLH®-CLT nervurés peuvent :

- Contenir une isolation partiellement ou intégralement sur la hauteur des nervures (cf. §3.1.1),

Et/ou

- Recevoir un habillage de sous-face ou un plafond suspendu.

Dans ce cas, selon le §7.3 du Cahier du CSTB n°3814, il y a lieu de vérifier :

- En climat de plaine, hors zone très froide, sans isolation complémentaire entre nervures ou en sous-face du caisson par panneaux de fibres de bois, le respect de la règle du 1/3-2/3 en tenant compte des résistances thermiques des éléments placés coté intérieur, sous l'écran pare-vapeur (Eléments KLH®-CLT nervurés, isolants acoustiques, habillage ou faux-plafond).
- En climat de plaine avec isolation complémentaire entre nervures ou en surface du caisson par panneaux de fibres de bois, en zone très froide et en climat de montagne, le respect de la règle du 1/4-3/4 en tenant compte des résistances thermiques des éléments placés coté intérieur, sous l'écran pare-vapeur (Eléments KLH®-CLT nervurés, isolants acoustiques, habillage ou faux-plafond). L'épaisseur minimale de l'isolant support d'étanchéité est déterminée de manière à ce que sa résistance thermique soit supérieure ou égale à trois fois la résistance thermique de l'élément KLH®-CLT nervuré utilisé (calculée selon son épaisseur avec λ des panneaux KLH®-CLT défini dans le dossier technique) et de l'éventuelle isolation apportée par le plafond suspendu en sous-face du panneau structural.

Nota : Une zone très froide est définie par une température de base strictement inférieure à -15 °C, déterminée selon la norme NF P 52-612/CN. Les départements de la zone très froide sont :

- Le Bas-Rhin, le Haut-Rhin, les Vosges, le Territoire de Belfort, la Moselle et la Meurthe-et-Moselle pour les altitudes > 400 m.
- Le Doubs, pour les altitudes > 600 m.
- L'Ain, les Hautes-Alpes, l'Isère, le Jura, la Loire, la Nièvre, le Rhône, la Haute-Saône, la Saône-et-Loire, la Savoie et la Haute-Savoie pour les altitudes > 800 m.

Les zones en climat de montagne, qui sont définies pour une altitude supérieure ou égale à 900 m, sont considérées comme zone très froide.

3.6. Dispositions particulières au climat de montagne

En climat de montagne, l'élément porteur présente une pente sur plan dépendantes du critère de dimensionnement choisi :

- ≥ 3 %, lorsque les éléments KLH®-CLT nervurés sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges, limité au $1/250e$ de la portée,
- $\geq 1,8$ %, lorsque les éléments KLH®-CLT nervurés sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges, limité au $1/400e$ de la portée,

- $\geq 1,6$ %, lorsque les éléments KLH®-CLT nervurés sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges, limité au $1/500e$ de la portée,
- ≥ 3 % pour les terrasses et toitures végétalisées.

On se référera au Document Technique d'Application particulier des revêtements d'étanchéité, et à la norme NF DTU 20.12 P1 pour la hauteur des reliefs selon la destination des terrasses.

Dans le cas d'ouvrage en climat de montagne, en toiture accessible aux piétons, la couche de protection devra présenter une performance renforcée à la résistance à la diffusion de vapeur d'eau, en intégrant un parement aluminium.

En variante, la couche de protection en revêtement d'étanchéité bicouche comprendra en seconde couche une feuille de bitume élastomérique 35 Alu choisie parmi celles du DTA du revêtement d'étanchéité bicouche prévue pour cette utilisation.

Les dispositifs d'évacuation des eaux pluviales sont implantés selon l'annexe D du e-Cahier du CSTB n°3814.

3.7. Entretien et réparation

a) Entretien et réparation des éléments KLH®-CLT nervurés : se reporter au Dossier Technique.

b) L'entretien des toitures est celui prescrit par le NF DTU 43.4 P1-1, complété par :

- Cas des terrasses et toitures végétalisées : se reporter à l'Avis Technique de la protection végétalisée ;
- Cas des terrasses accessibles avec dalles sur plots ou avec platelage bois, se reporter :
 - Au paragraphe 5 de la norme FD P 84-208-3 (référence DTU 43.1 P3),
 - Aux Règles Professionnelles pour la conception et la réalisation des toitures-terrasses et balcons étanchés avec protection par platelage en bois (CSFE Juin 2017).
 - Aux Documents Techniques d'Application particuliers des revêtements d'étanchéité.

c) Réparation d'anciens revêtements d'étanchéité établis sur les éléments KLH®-CLT nervurés

Ce sont d'anciennes étanchéités, à base d'asphalte, de feuilles bitumineuses ou de membrane synthétique. Les critères de conservation et de préparation de ces anciennes étanchéités sont définis dans la norme NF DTU 43.5.

Le nouveau système d'étanchéité est conforme aux dispositions de son Document Technique d'Application.

Éléments KLH®-CLT nervurés : les études préalables doivent comprendre un contrôle de la teneur en humidité des éléments KLH®-CLT nervurés et la vérification de leur salubrité.

Ces études sont à la charge du maître d'ouvrage. Elles ne sont pas de la compétence du lot d'Étanchéité.

3.8. Organisation de la mise en œuvre et assistance technique

Conformément au e-cahier du CSTB n°3814 :

a) Le lot Structure (ou Charpente, ou Gros-œuvre) assure :

- La construction du support ou de l'élément porteur de partie courante du système d'étanchéité en éléments KLH®-CLT nervurés ;
- L'exécution des points singuliers nécessaires au système d'étanchéité, reliefs - acrotères - costières - joint de dilatation par exemple ;
- La réalisation, dans les éléments KLH®-CLT nervurés, des réservations nécessaires au système d'étanchéité. Elles concernent, par exemple, les :
 - Lanterneaux ou bandes éclairantes ou voûtes d'éclairage,
 - Sorties de crosse,
 - Pénétrations diverses et variées,
 - Entrées d'eaux pluviales (EEP), etc.
- La protection de l'ouvrage vis-à-vis des intempéries (cf. § 8.2 du cahier du CSTB n°3814 et § 2.9.4.3 du Dossier Technique)

Dans le cas où les titulaires du lot « Structure » et « Etanchéité » sont différents, une acceptation du support est nécessaire (cf. § 3.9).

Une assistance technique peut être demandée à la Société Lignatec SAS.

b) Le lot Étanchéité :

- Vérifie les réservations nécessaires au système d'étanchéité prévues par le maître d'œuvre.
- Assure la mise en œuvre du système d'étanchéité, pare-vapeur et support isolant éventuels - revêtement d'étanchéité - protection éventuelle (incluant la protection végétalisée), au-dessus du support en panneaux structuraux KLH®-CLT.

3.9. Conditions d'acceptation du support

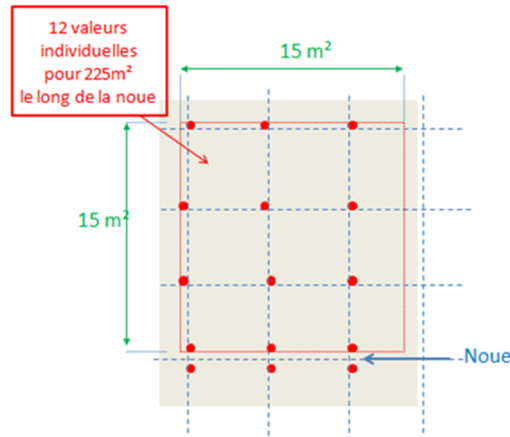
Une acceptation du support est nécessaire si les titulaires du lot « Structure » et « Etanchéité » sont différents.

Les points suivants doivent être observés :

- Planéité du plan de pose avec notamment limitation du désaffleurement entre deux panneaux < 2 mm et ouverture entre deux panneaux < 10 mm ;
- Rebouchage des trous laissés par les fixations des ancrages ayant permis la manipulation des panneaux, si leur diamètre est supérieur à 10 mm ;
- Désaffleurement non admis pour les têtes de fixation des panneaux ;
- Respect de la pente prescrite par le présent document ;

- Contrôle de la siccité du support

Afin de respecter les conditions de service des panneaux, leur humidité, mesurée à 40 mm de profondeur (pour les panneaux minces d'épaisseur inférieure à 50 mm, la mesure est prise à mi-épaisseur), avec un humidimètre selon la norme NF EN 13183-2 : 2002, ne doit pas être supérieure à 20 % au moment de la mise en œuvre du complexe d'étanchéité. Un zonage délimitant sur plan des surfaces de 225 m² doit être réalisé. Sur chaque zone, un repérage des points de mesure doit être formalisé sur plan à raison d'un point tous les 5 m de chaque côté de la noue et bas de versant et 1 tous les 5 m environ en partie courante (soit une douzaine de mesures individuelles pour cette zone).



a/ Si, sur cette zone, la moyenne est < à 20 % avec au plus une valeur individuelle entre 20 et 25%, le support est admissible d'un point de vue de la siccité.

b/ Si, sur cette zone, la moyenne est < à 20 % mais qu'au moins deux valeurs individuelles sont comprises entre 20 et 25 %, il est nécessaire de protéger de l'eau et de ventiler les panneaux structuraux sur leurs deux faces en rapportant éventuellement une protection sous la forme d'un parapluie (cf. § 8.2) permettant de créer un flux d'air à la surface des panneaux et d'effectuer régulièrement les contrôles d'humidité jusqu'à séchage suffisant des panneaux (cf. a/). Le retour à une humidité < à 20% sur toutes les valeurs individuelles peut prendre un certain temps. Il est inutile de chauffer l'air à proximité des panneaux.

c/ Si, au moins une valeur individuelle est > à 25%, il est nécessaire de remplacer le/les panneaux structuraux concernés et de refaire les mesures.

d/ Si, sur cette zone, la moyenne est > à 20% mais que toutes les valeurs individuelles sont < à 25%, il est nécessaire de protéger de l'eau et de ventiler les panneaux structuraux sur leurs deux faces (cf. b/).

e/ Dans les autres cas, il est nécessaire de remplacer les panneaux structuraux.

Les mesures d'humidité avant mise en œuvre du complexe d'étanchéité sont formalisées et transmises au maître d'œuvre, avec les indications suivantes : plan de zonage, identification de la zone, n° AT/DTA (ou essence), date, référence de l'instrument de mesure utilisé, espèce sélectionnée, température sélectionnée et profondeur de pénétration ».

Tableau A.1 – Emploi en toitures inaccessibles, chemins de circulation et toitures à zones techniques ⁽¹⁾, en France métropolitaine

Support direct du revêtement d'étanchéité	Revêtement d'étanchéité (4)				
	Systèmes apparents		Systèmes sous protection meuble		
	semi-indépendant	adhérent	indépendant	semi-indépendant	adhérent
Eléments K LH®-CLT nervurés penté $\geq 3\%$ (3)			OUI	OUI	OUI (5)
(8) + Eléments K LH®-CLT nervurés penté (2) (3) sous isolation inversée (6)			OUI	OUI	OUI (5)
(8) + Eléments K LH®-CLT nervurés (2) (3) + pare-vapeur + support isolant (7)	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI
(8) + Eléments K LH®-CLT nervurés T ou caisson H à pente nulle + feuille (10) + support isolant en verre cellulaire penté (3) (9)		OUI			OUI

OUI : signifie pose possible, selon le Document Technique d'Application du support isolant et de celui du revêtement d'étanchéité. Les zones grisées correspondent à des exclusions d'emploi.

(1) Avec les dispositions du Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité.
(2) La pente minimum des parties courantes dépend des critères de dimensionnement des panneaux porteurs (cf. § 3.1.2).
(3) En systèmes apparents : $\leq 7\%$ en zones techniques et $\leq 50\%$ pour les chemins de circulation ; sous protection meuble : pente $\leq 5\%$.
(4) Les revêtements d'étanchéité sont mis en œuvre conformément à leur Document Technique d'Application.
(5) Pontage des éléments K LH®-CLT nervurés selon les dispositions du e-Cahier du CSTB n°3814.
(6) Les Règles Professionnelles Isolation inversée des toitures-terrasses (juin 2021) indiquent les protections admises.
(7) Dans le cas d'un support isolant en verre cellulaire, on se reportera soit au Document Technique d'Application des plaques de verre cellulaire visant les revêtements apparents, soit aux Règles Professionnelles Isolants supports d'étanchéité en indépendance sous protection lourde (juillet 2021).
(8) Habillage ou plafond suspendu éventuel (non isolé pour les toitures froides, isolés pour les toitures chaudes) (cf. § 3.5)
(9) Pente minimale de 1,6 %
(10) Feuille bitumineuse à surface grésée, soudée en pleine adhérence sur le panneau K LH®-CLT (cf. Avis Technique FOAMGLAS TAPERED)

Tableau A.2 – Emploi en terrasses et toitures végétalisées ⁽¹⁾ en France métropolitaine

Support direct du revêtement d'étanchéité	Revêtement d'étanchéité (3) (8)	
	semi-indépendant	adhérent
Eléments K LH®-CLT nervurés penté (2)	OUI	OUI (4)
(7) + Eléments K LH®-CLT nervurés penté (2) sous isolation inversée (5)	OUI	OUI (4)
(7) + Eléments K LH®-CLT nervurés penté (2) + pare-vapeur + support isolant (6)	OUI	OUI

OUI : signifie pose possible, selon le Document Technique d'Application du support isolant et de celui du revêtement d'étanchéité, et de l'Avis Technique du procédé de végétalisation.

(1) Avec la protection végétalisée définie dans l'Avis Technique du procédé de végétalisation.
(2) Les pentes maximales sont celles définies dans l'Avis Technique du procédé de végétalisation et la pente minimale est de 3%.
(3) Les revêtements d'étanchéité sont mis en œuvre conformément à leur Document Technique d'Application.
(4) Pontage des éléments K LH®-CLT nervurés selon les dispositions du e-Cahier du CSTB n°3814.
(5) Les Règles Professionnelles Isolation inversée des toitures-terrasses (juin 2021), complété par l'Avis Technique du procédé de végétalisation, indiquent les protections admises.
(6) Dans le cas d'un support isolant en verre cellulaire, on se reportera aux Règles Professionnelles Isolation inversée des toitures-terrasses (juin 2021).
(7) Habillage ou plafond suspendu éventuel (non isolé pour les toitures froides, isolés pour les toitures chaudes) (cf. § 3.5)
(8) L'indépendance peut être admise favorablement par l'Avis Technique du système de végétalisation de toiture étanchée, lorsque l'élément porteur est en bois.

Tableau A.3 – Emploi en terrasses accessibles avec dalles sur plots ⁽¹⁾ ou avec platelage bois ⁽⁷⁾, en France métropolitaine

Support direct du revêtement d'étanchéité	Revêtement d'étanchéité (2)		
	indépendant	semi-indépendant	adhérent
(8) + Eléments KLH®-CLT nervurés penté (4) + couche de protection (5-6) + support isolant	OUI	OUI (11)	OUI (3)
(8) + Panneaux KLH®-CLT nervurés T ou caisson H à pente nulle + feuille (10) + support isolant en verre cellulaire penté (3) (9)			OUI (3)

Les zones grisées correspondent à des exclusions d'emploi.

OUI : signifie pose possible, selon le Document Technique d'Application du support isolant et de celui du revêtement d'étanchéité.

(1) Avec le système de dalles sur plots du Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité.

(2) Le revêtement d'étanchéité est mis en œuvre conformément à son Document Technique d'Application.

(3) Pontage des éléments KLH®-CLT nervurés selon les dispositions du e-Cahier du CSTB n°3814.

(4) La pente minimum des parties courantes dépend des critères de dimensionnement des panneaux porteurs (cf. § 3.1.2). La pente est de 5% maxi

(5) La couche de protection adhérente est mise en œuvre conformément à son Document Technique d'Application. En variante, un revêtement d'étanchéité bicouche adhérent peut également être utilisé (cf. § 3.3.2).

(6) En climat de montagne, un aluminium bitumé (norme NF P84-310) est placé sur la couche de protection ou, en variante, le revêtement bicouche comprendra une seconde feuille de bitume élastomère 35 alu.

(7) Respectant les règles professionnelles pour la conception et la réalisation des toitures-terrasses et balcons étanchés avec protection par platelage en bois (CSFE juin 2017)

(8) Habillage ou plafond suspendu éventuel (non isolé pour les toitures froides, isolés pour les toitures chaudes) (cf. § 3.5)

(9) Pente minimale de 1,6 %

(10) Feuille bitumineuse à surface grésée, soudée en pleine adhérence sur le panneau KLH®-CLT (cf. Avis Technique FOAMGLAS TAPERED)

(11) Fixations mécaniques exclues

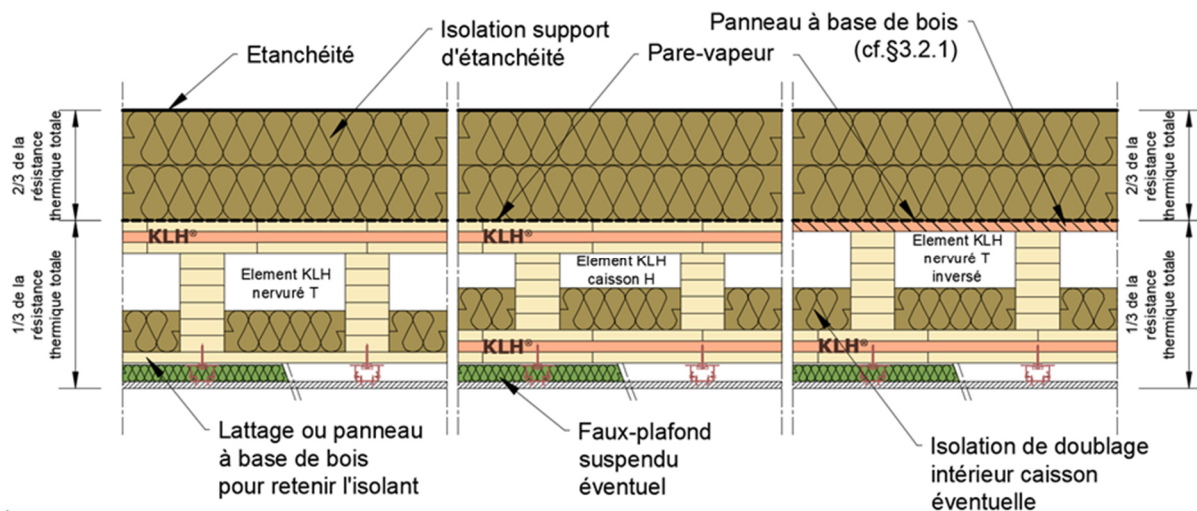


Figure A.1 – Toitures chaudes isolées en toitures terrasses inaccessibles et techniques ou végétalisées

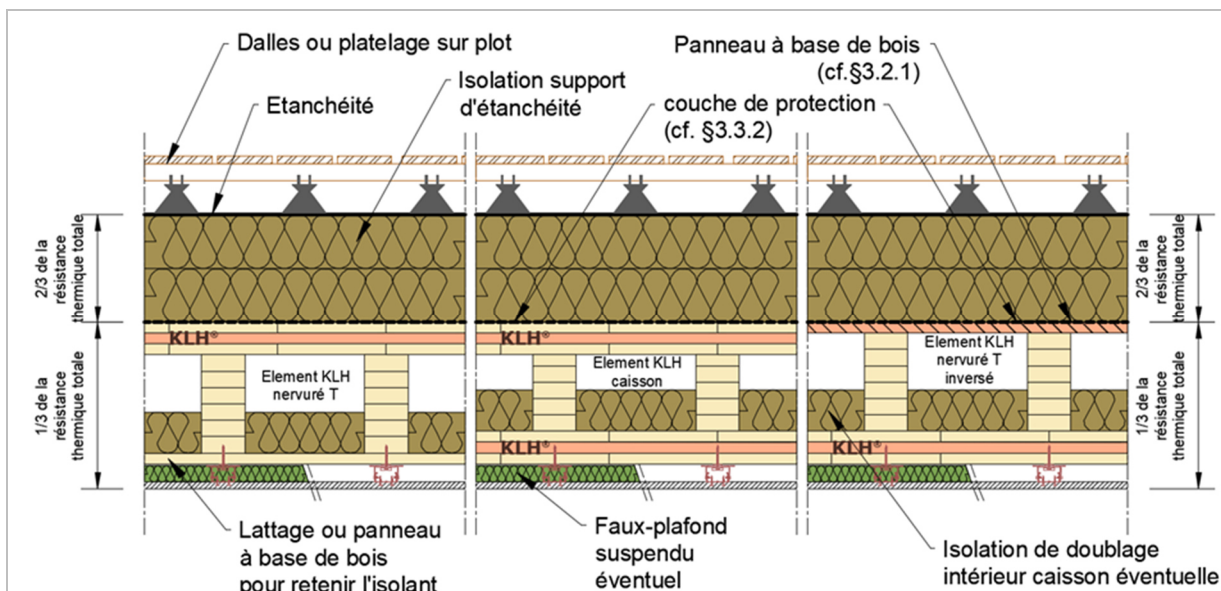
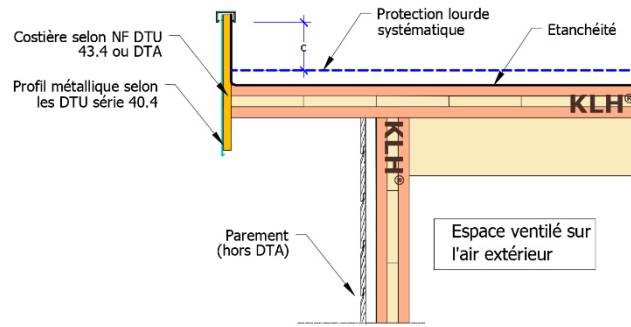


Figure A.2 – Toitures chaudes isolées en toitures terrasses accessibles

Note : Les figures ci-après ne montrent précisément que les panneaux KLH®-CLT ; Pour les ouvrages d'étanchéité et de bardage, se reporter aux référentiels techniques (DTU, DTA, Règles Professionnelles) dont ils relèvent.

Note : En climat de plaine, hors zone très froide, sans isolation complémentaire entre nervures ou en sous-face du caisson par panneaux de fibres de bois, respect de la règle du 1/3-2/3 en tenant compte des résistances thermiques des éléments placés coté intérieur, sous l'écran pare-vapeur (Eléments KLH®-CLT nervurés, isolants acoustiques, habillage ou faux-plafond).

En climat de plaine avec isolation complémentaire entre nervures ou en surface du caisson par panneaux de fibres de bois, en zone très froide et en climat de montagne, respect de la règle du 1/4-3/4 en tenant compte des résistances thermiques des éléments placés coté intérieur, sous l'écran pare-vapeur (Eléments KLH®-CLT nervurés, isolants acoustiques, habillage ou faux-plafond).



Cote c selon le NF DTU 43.4 P1

Figure A.3a – Costière de rive selon le NF DTU 43.4 P1, sur toiture non isolée Bâtiment non chauffé et ventilé (coupe perpendiculaire à la pente)

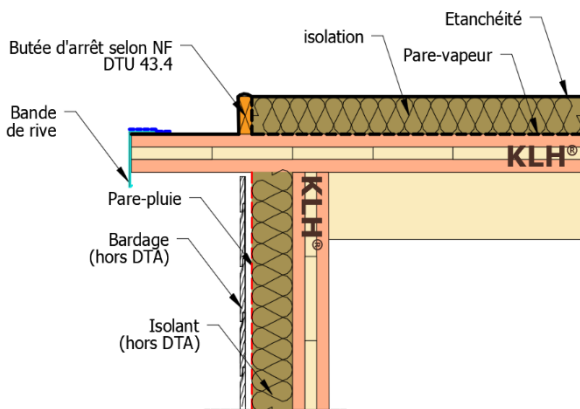


Figure A.3b – Bande de rive métallique - toiture isolée (coupe perpendiculaire à la pente)

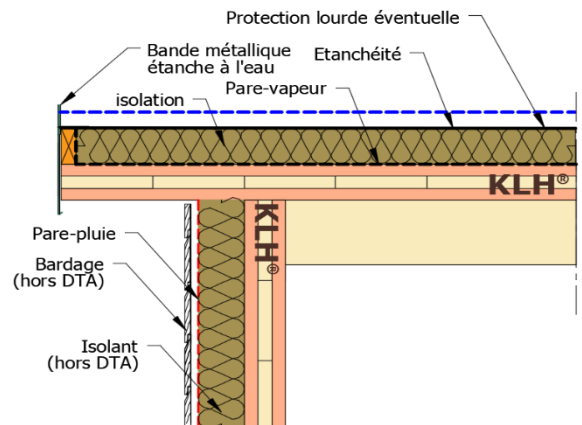
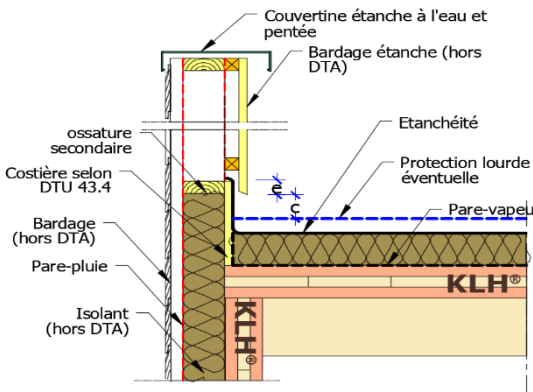


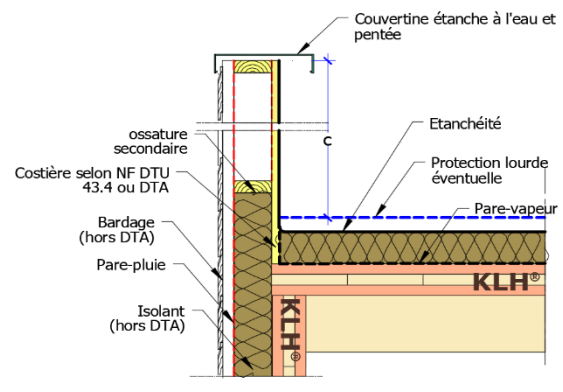
Figure A.3c – Costière de rive selon le NF DTU 43.4 P1, sur toiture isolée (coupe perpendiculaire à la pente)

Figure A.3 – Exemples de relief en bois

Note : ces figures représentent des principes ne pouvant servir de dessins d'exécution. Le raccordement des différents plans d'étanchéité à l'eau doit être étudié au cas par cas.

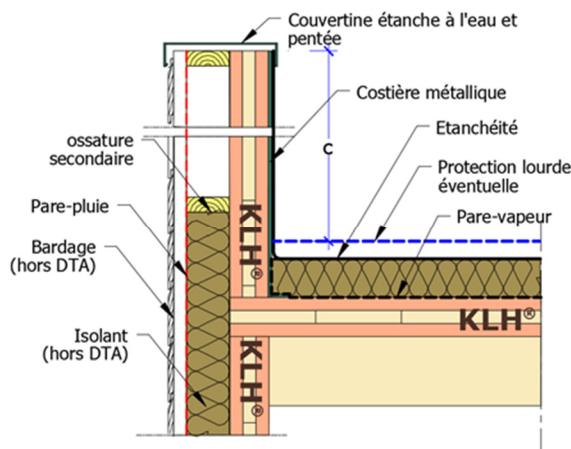


Cotes e et c selon le NF DTU 43.4 P1



Cote c selon le NF DTU 43.4 P1

Figure A.4 – Exemple de relevés en toiture inaccessible, technique ou végétalisée (coupe perpendiculaire à la pente)



Cote c selon le NF DTU 43.4 P1

Figure A.5 – Exemple de relevés avec costière métallique toiture inaccessible, technique ou végétalisée (Coupe perpendiculaire à la pente)

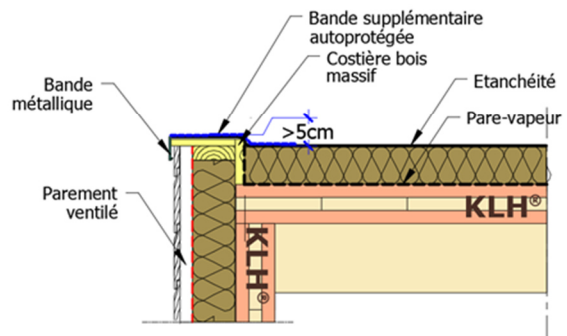
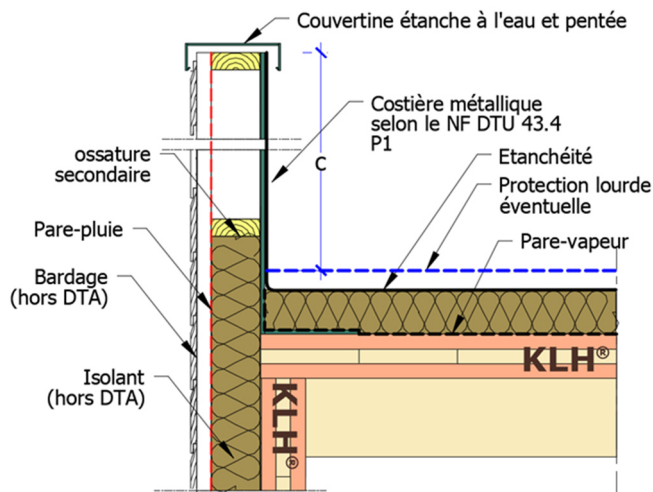


Figure A.6 – Exemple d'une rive avec support isolant de partie courante toiture inaccessible ou technique (coupe perpendiculaire à la pente)



Cote c selon le NF DTU 43.4 P1

Figure A.7 – Exemple de relevé avec costière métallique, dont l'ailé horizontale repose sur le panneau KLH®-CLT nervurés de partie courante toiture inaccessible, technique ou végétalisée (coupe perpendiculaire à la pente)

Note : L'ossature secondaire et les montants verticaux forment un ouvrage de charpente, résistant aux sollicitations diverses et ancrés dans les panneaux KLH.

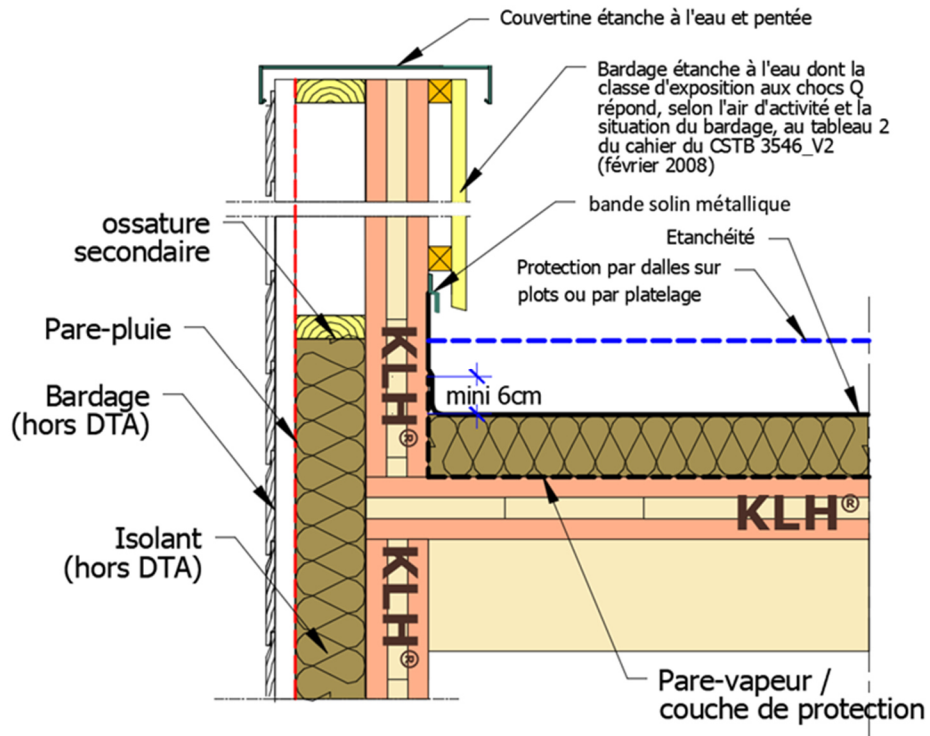


Figure A.8 – Exemple de relevé en terrasses accessibles aux piétons et au séjour
 La fonction garde-corps, si elle est nécessaire, doit être vue par ailleurs
 (Coupe perpendiculaire à la pente)

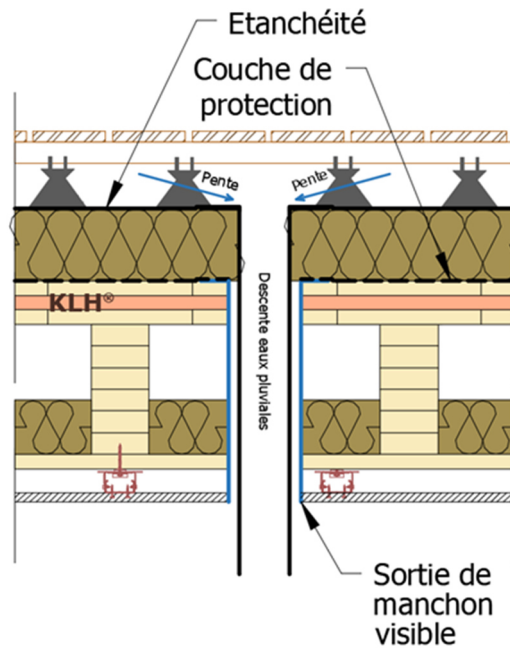


Figure A.9 – Dispositif de contrôle de fuite au niveau des descentes des eaux pluviales en terrasses accessibles aux piétons et au séjour

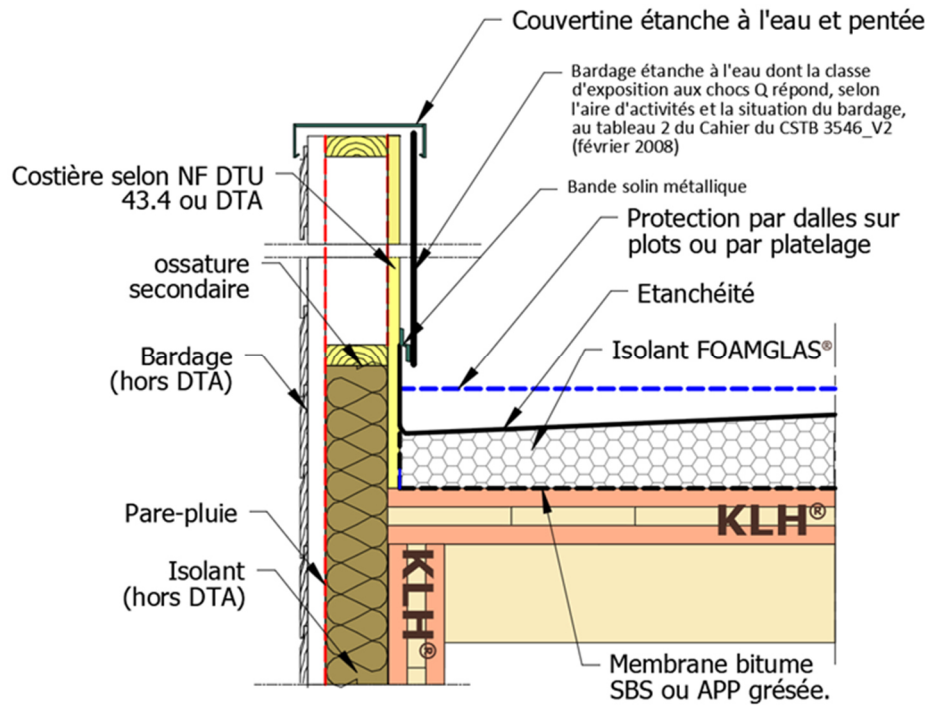


Figure A.10 – Exemple de relevé en terrasses accessibles aux piétons et au séjour
La fonction garde-corps, si elle est nécessaire, doit être vue par ailleurs
(coupe parallèle à la pente)

4. Annexe en support de couvertures

4.1. Généralités

4.1.1. Principe

Les éléments KLH®-CLT nervurés sont constitués de panneaux structuraux KLH®-CLT renforcés par des poutres bois jouant le rôle de nervures.

Les profils des éléments KLH®-CLT nervurés support de couverture sont :

- Élément KLH®-CLT nervuré ouvert (KLH®-CLT nervuré T) (cf. figure 1) : constitué de nervures en bois lamellé collé et d'un tablier supérieur en panneau KLH®-CLT type L ou Q.
- Élément KLH®-CLT nervuré ouvert inversé (KLH®-CLT nervuré T inversé) (cf. figure 2) : constitué d'un panneau de fermeture éventuel à base de bois conformément à la norme NF DTU 43.4 pour les supports de toiture ou aux recommandations professionnelles RAGE « Isolation thermique des sous-faces des toitures chaudes à élément porteur en bois relevant du NF DTU 43.4 » (panneaux OSB/3), de nervures en bois lamellé collé et d'un tablier inférieur en panneau KLH®-CLT type L ou Q.
- Élément KLH®-CLT nervuré caisson (KLH caisson H) (cf. figure 3) : constitué de nervures en bois lamellé collé et d'un tablier supérieur et inférieur en panneau KLH®-CLT type L ou Q.

Les éléments KLH®-CLT nervuré caisson (KLH®-CLT caisson H) et nervuré ouvert inversé avec panneau de fermeture (KLH®-CLT nervuré T inversé), utilisés en support de couverture froide ventilée plane peuvent contenir une isolation mise en œuvre soit partiellement soit intégralement sur la hauteur des nervures (cf. § 4.1.3).

Les éléments KLH®-CLT nervurés sont destinés à l'emploi comme éléments porteur support de couverture, avec ou sans isolation rapportée (cf. § 4.1.3).

En l'absence de membrane pare-vapeur (cf. § 4.1.3.3, 4.1.3.4 et 4.4.6), la paroi composée d'éléments KLH®-CLT nervurés T inversé réalise une barrière suffisante à la diffusion de la vapeur d'eau, dans le domaine d'emploi concerné (cf. § 2.12.2). Dans ce cas, les d'éléments KLH®-CLT nervurés T inversé ne comportent pas de panneau de fermeture ou sont fermés par des panneaux SWISS KRONO OSB3, dont la valeur Sd est certifiée par le FCBA (Certificat n°527), d'épaisseur maximale 22 mm.

4.1.2. Destination

Les éléments KLH®-CLT nervurés sont destinés à l'emploi comme éléments porteur support de couverture froide ventilée plane (cf. § 4.1.4), en France métropolitaine (hors Département et Régions d'Outre-Mer - DROM), en climat de plaine et de montagne, en zones de sismicité 1 (très faible) à 4 (moyenne), en construction neuve ou en rénovation, sur tous types de construction, au-dessus de locaux à faible ou moyenne hygrométrie ($W/n \leq 5 \text{ g/m}^3$).

Les éléments KLH®-CLT nervurés sont mis en œuvre sur des structures porteuses en béton ou maçonneries, métalliques ou en bois suivant les prescriptions du Dossier Technique.

Ils sont support d'isolation mise en œuvre entre nervures-chevrons ou en continu.

Dans ce deuxième cas :

- on se référera aux prescriptions des Avis Techniques ou Documents Techniques d'Application relatifs aux procédés « Sarking ».
- les éléments KLH®-CLT nervurés T inversé avec panneau de fermeture et les éléments KLH®-CLT nervurés caisson sont mis en œuvre dans le sens de la pente et un traçage réalisé en atelier en surface du panneau de fermeture permettra de repérer la position des nervures devant recevoir les fixations du procédé « sarking ».

En couverture froide non isolée (uniquement sur bâtiment ouvert non isolé ventilé par l'air extérieur), seuls les éléments nervurés ouvert KLH-CLT Nervuré T sont envisagés.

4.1.3. Type d'isolation

Quelle que soit la configuration de paroi, il y a lieu de respecter le § 4.2.

Les différentes configurations de parois sont synthétisées dans les tableaux B.1 à B.4.

4.1.3.1. Pose sur éléments KLH®-CLT nervuré T (cf. Fig. B.3a)

L'isolation thermique est réalisée systématiquement par l'extérieur. Elle est mise en œuvre :

- Soit par isolation entre chevrons fixés à travers la membrane pare-vapeur dans le tablier supérieur des éléments KLH®-CLT nervuré T (cf. § 4.5.1.2).
L'isolation thermique est réalisée à partir de panneaux ou des rouleaux de laine minérale ne comportant pas de surfacage fonctionnel ou décoratif bénéficiant d'une certification ACERMI dont le classement ISOLE minimal est : I1 S1 O2 L2 E1 (O2 : isolant non hydrophile, L2 : isolant semi-rigide) ou attestant des niveaux :
 - WS, ce qui correspond au critère d'absorption à court terme (24 h) par immersion partielle $W_p < 1,0 \text{ kg/m}^2$ selon la norme NF EN 1609 – Méthode A,
Nota : le classement WL (P) ne se substitue pas au classement WS.
 - « Isolant semi-rigide » pour l'épaisseur concernée ou, à défaut, TR50 ce qui correspond au critère de résistance en traction $\sigma_{mt} > 50$ selon la norme NF EN 1607.
- Soit par un procédé Sarking (cf. § 4.5.1.3).

Les éléments KLH®-CLT nervuré T ne comportent pas d'isolant mis en œuvre en atelier.

Une finition avec un éventuel complément d'isolation par l'intérieur peut être mis en œuvre sous réserve du respect du § 4.2 par :

- Plaques de plâtre conformément au NF DTU 25.41 (plaques fixées mécaniquement sur ossature rapportée ancrée dans les nervures des Eléments KLH®-CLT nervuré T, avec une éventuelle isolation :
 - entre les nervures ou sous les nervures, en laine minérale ne comportant pas de surfaçage fonctionnel ou décoratif, réalisée conformément au NF DTU 45.10.
 - entre les nervures, en panneaux de fibres de bois bénéficiant d'un AT/DTA pour l'emploi en isolation thermique de comble sous rampant en respectant la règle des 1/4-3/4 (cf. § 4.2) sauf dispositions particulières de l'AT/DTA du procédé, listés ci-après :
 - 20/19-431_V1 « Gamme FLEX ISONAT : ISONAT Flex 40 et Flex 55 plus H Application combles »,
 - 20/20-466_V1 « Pavaflex – Application en combles »,
 - 20/20-469_V1 « STEICOflex F – Combles ».
- Dans ce cas, les couvertures visées sont celles mentionnées au § 4.1.4, à l'exclusion des couvertures relevant des normes NF DTU 40.35, NF DTU 40.36 et NF DTU 40.37.
- Complexe plaques de parement en plâtre-isolant conformément au NF DTU 25.42 (complexe fixé sur une ossature rapportée ancrée dans les nervures).

En l'absence d'isolation par l'extérieur (couverture froide ventilée non isolée), uniquement dans le cas de locaux ouverts sur l'extérieur, le panneau CLT et les nervures doivent rester visibles (ni isolation intérieure, ni parement de fermeture intérieur).

4.1.3.2. Pose sur éléments KLH®-CLT nervuré H (cf. Fig. B.3b) et nervuré T inversé avec panneau de fermeture (cf. Fig. B.3c et B.3d) - conception de paroi avec membrane pare-vapeur

L'isolation thermique est réalisée systématiquement par l'extérieur. Elle est mise en œuvre :

- Soit par isolation entre chevrons fixés à travers la membrane pare-vapeur dans le tablier supérieur des éléments KLH®-CLT nervuré T (cf. § 4.5.1.2).
L'isolation thermique est réalisée à partir de panneaux ou de rouleaux de laine minérale ne comportant pas de surfaçage fonctionnel ou décoratif bénéficiant d'une certification ACERMI dont le classement ISOLE minimal est : I1 S1 O2 L2 E1 (O2 : isolant non hydrophile, L2 : isolant semi-rigide) ou attestant des niveaux :
 - WS, ce qui correspond au critère d'absorption à court terme (24 h) par immersion partielle $W_p < 1,0 \text{ kg/m}^2$ selon la norme NF EN 1609 – Méthode A,
Nota : le classement WL (P) ne se substitue pas au classement WS.
 - « Isolant semi-rigide » pour l'épaisseur concernée ou, à défaut, TR50 ce qui correspond au critère de résistance en traction $\sigma_{mt} > 50$ selon la norme NF EN 1607.
- Soit par un procédé Sarking (cf. § 4.5.1.3)

Ces éléments KLH®-CLT nervuré caisson H ou KLH®-CLT nervuré T inversé avec panneau de fermeture, en panneaux à base de bois conformes à la norme NF DTU 43.4 pour les supports de toiture ou aux recommandations professionnelles RAGE « Isolation thermique des sous-faces des toitures chaudes à élément porteur en bois relevant du NF DTU 43.4 » (panneaux OSB/3), peuvent contenir une isolation mise en œuvre en atelier soit partiellement soit intégralement sur la hauteur des nervures, en panneaux :

- en laine minérale ne comportant pas de surfaçage fonctionnel ou décoratif, semi-rigide conformes au NF DTU 45.10 certifié ACERMI WS, T2 et semi-rigide en respectant la règle des 1/3-2/3 (cf. § 4.2)

ou

- en fibres de bois bénéficiant d'un AT/DTA pour l'emploi en isolation thermique de comble sous rampant (cf. liste des AT/DTA au § 4.1.3.1), en respectant la règle des 1/4-3/4 (cf. § 4.2) sauf dispositions particulières de l'AT/DTA du procédé. Sont couvertes les toitures dont la couverture relève de la série 40 (incluant les tuiles en terre cuite, les tuiles en béton, les couvertures en ardoises, en zinc, en cuivre...), à l'exclusion des couvertures relevant des normes NF DTU 40.35, NF DTU 40.36 et NF DTU 40.37.

Les panneaux isolants en laine minérale ne comportant pas de surfaçage fonctionnel ou décoratif sont posés, en atelier, en une ou plusieurs couches disposées entre nervures, serrées mais non comprimées dans son épaisseur et sur toute leur périphérie.

La largeur maximale du panneau isolant correspond à l'entraxe entre-nervures et les largeurs/longueurs sont découpés aux dimensions de la cavité augmentée de 5mm avec une tolérance de 0 à +5mm sur cette surcote, de manière à réaliser un contact continu entre les nervures et l'isolant sur toute la périphérie.

Les panneaux en fibres de bois sont mis en œuvre en atelier, en respectant les prescriptions de leur Avis Technique.

Les panneaux isolants sont bloqués en extrémité par une nervure de fermeture ou un panneau à base de bois conforme au NF DTU 43.4.

Une finition avec un éventuel complément d'isolation par l'intérieur peut être mis en œuvre, sous réserve de respect du § 4.2, par :

- Plaques de plâtre conformément aux NF DTU 25.41 (plaques fixées mécaniquement sur ossature rapportée ancrée dans les panneaux CLT intérieurs des Eléments KLH®-CLT nervuré caisson H ou caisson T inversé, avec une éventuelle isolation en laine minérale sous les panneaux CLT, réalisée conformément au NF DTU 45.10.
- Complexe plaques de parement en plâtre-isolant conformément au NF DTU 25.42 (complexe fixés mécaniquement sur une ossature rapportée ancrée dans les panneaux CLT des Eléments KLH®-CLT nervuré caisson H ou caisson T inversé).

Les Eléments KLH®-CLT nervuré caisson (KLH®-CLT caisson H) ou nervuré T inversé (KLH®-CLT nervuré T inversé) ne peuvent pas être utilisés en couverture froide ventilée non isolée, en bâtiment ouvert sur l'extérieur.

4.1.3.3. Pose sur éléments KLH®-CLT nervuré T inversé sans panneau de fermeture (cf. Fig. B.3e) - conception de paroi sans membrane pare-vapeur

Dans cette conception particulière sans membrane pare-vapeur, c'est le panneau KLH®-CLT qui assure une barrière suffisante à la diffusion de la vapeur.

Les éléments KLH®-CLT nervuré T inversé sans panneau de fermeture reçoivent systématiquement une isolation mise en œuvre sur chantier sur toute la hauteur des nervures, en panneaux en laine minérale ne comportant pas de surfaçage fonctionnel ou décoratif, semi-rigide conformes au NF DTU 45.10 et certifié ACERMI WS, T2 et semi-rigide, ne comportant pas de surfaçage fonctionnel ou décoratif.

Les panneaux isolants sont posés, sur chantier, en une ou plusieurs couches disposées entre nervures, serrées mais non comprimées dans son épaisseur et sur toute leur périphérie.

La largeur maximale du panneau isolant correspond à l'entraxe entre-nervures et les largeurs/longueurs sont découpés aux dimensions de la cavité augmentée de 5mm avec une tolérance de 0 à +5mm sur cette surcote, de manière à réaliser un contact continu entre les nervures et l'isolant sur toute la périphérie.

Les panneaux isolants sont bloqués en extrémité par une nervure de fermeture ou un panneau à base de bois conforme au NF DTU 43.4.

Une finition avec un éventuel complément d'isolation par l'intérieur peut être mis en œuvre, sous réserve de respect du § 4.2, par :

- Plaques de plâtre conformément aux NF DTU 25.41 (plaques fixées mécaniquement sur ossature rapportée ancrée dans les panneaux CLT intérieurs des Eléments KLH®-CLT nervuré T inversé, avec une éventuelle isolation en laine minérale sous les panneaux CLT, réalisée conformément au NF DTU 45.10.
- Complexe plaques de parement en plâtre-isolant conformément au NF DTU 25.42 (complexe fixés mécaniquement sur une ossature rapportée ancrée dans les panneaux CLT des Eléments KLH®-CLT nervuré T inversé).

4.1.3.4. Pose sur éléments KLH®-CLT nervuré T inversé avec panneau de fermeture (cf. Fig. B.3f et B.3g) - conception de paroi sans membrane pare-vapeur

Dans cette conception particulière sans membrane pare-vapeur, c'est le panneau KLH®-CLT qui assure une barrière suffisante à la diffusion de la vapeur.

Les éléments KLH®-CLT nervuré T inversé avec panneau de fermeture, en panneaux SWISS KRONO OSB3, certifié individuellement par le FCBA (Certificat n°527), d'épaisseur maximale 22 mm, reçoivent systématiquement une isolation mise en œuvre en atelier sur toute la hauteur des nervures, en panneaux :

- en laine minérale ne comportant pas de surfaçage fonctionnel ou décoratif semi-rigide conformes au NF DTU 45.10 certifié ACERMI WS, T2 et semi-rigide en respectant la règle des 1/3-2/3 (cf. § 4.2)

ou

- en fibres de bois bénéficiant d'un AT/DTA pour l'emploi en isolation thermique de comble sous rampant (cf. liste des AT/DTA au § 4.1.3.1), en respectant la règle des 1/4-3/4 (cf. § 4.2) sauf dispositions particulières de l'AT/DTA du procédé, listés au § 4.1.3.1. Dans ce cas, les couvertures visées sont celles mentionnées au § 4.1.4, à l'exclusion des couvertures relevant des normes NF DTU 40.35, NF DTU 40.36 et NF DTU 40.37. Dans ce cas, le panneau de fermeture, en panneaux SWISS KRONO OSB3, certifié individuellement par le FCBA (Certificat n°527), présente une épaisseur de 12 mm.

Les panneaux isolants en laine minérale ne comportant pas de surfaçage fonctionnel ou décoratif ne comportant pas de surfaçage fonctionnel ou décoratif sont posés, en atelier, en une ou plusieurs couches disposées entre nervures, serrées mais non comprimées dans son épaisseur et sur toute leur périphérie.

La largeur maximale du panneau isolant correspond à l'entraxe entre-nervures et les largeurs/longueurs sont découpés aux dimensions de la cavité augmentée de 5mm avec une tolérance de 0 à +5mm sur cette surcote, de manière à réaliser un contact continu entre les nervures et l'isolant sur toute la périphérie.

Les panneaux isolants sont bloqués en extrémité par une nervure de fermeture ou un panneau à base de bois conforme au NF DTU 43.4.

L'isolation peut également être réalisée sur site par insufflation d'isolant en ouate de cellulose « Thermofloc F / Insufflation de rampants » pour application pour rampant de toiture bénéficiant d'un AT/DTA pour l'emploi en isolation thermique de comble sous rampant. L'isolation est mise en œuvre, conformément à cet Avis Technique, dans les éléments KLH®-CLT nervuré T inversé avec panneau de fermeture (KLH®-CLT nervuré T inversé) en panneaux SWISS KRONO OSB3, certifié individuellement par le FCBA (Certificat n°527), d'épaisseur maximale 22 mm dans le cas de configuration de rampant présentant une inclinaison $\geq 20\%$, uniquement sans membrane pare-vapeur (le panneau KLH®-CLT fait office de pare-vapeur) et avec une isolation complémentaire systématique en face extérieure de l'élément nervuré KLH®-CLT (procédé sarking Rockciel ou isolation entre chevrons – cf. Fig B.3f ou B.3g).

L'isolation thermique est systématiquement complétée par l'extérieur, avec une résistance thermique minimale égale à :

- 1,7 m².K/W dans le cas d'une isolation à l'intérieur et en sous-face des Eléments KLH®-CLT nervuré T inversé représentant une résistance thermique inférieure ou égale à 6,2 m².K/W (cf. exemple en § 4.8).
- 2,3 m².K/W dans le cas d'une isolation à l'intérieur et en sous-face des Eléments KLH®-CLT nervuré T inversé représentant une résistance thermique entre 6,2 et 12,5 m².K/W inclus (cf. exemple en § 4.8).

Elle est mise en œuvre :

- Soit par isolation entre chevrons fixés aux éléments KLH®-CLT nervuré T à travers le panneau de fermeture supérieur en panneaux SWISS KRONO OSB3, certifié individuellement par le FCBA (Certificat n° 527), d'épaisseur maximale 22 mm. L'isolation thermique est réalisée à partir de panneaux ou de rouleaux de laine minérale bénéficiant d'une certification ACERMI dont le classement ISOLE minimal est : I1 S1 O2 L2 E1 (O2 : isolant non hydrophile, L2 : isolant semi-rigide) ou attestant des niveaux :
 - WS, ce qui correspond au critère d'absorption à court terme (24 h) par immersion partielle $W_p < 1,0 \text{ kg/m}^2$ selon la norme NF EN 1609 – Méthode A,
Nota : le classement WL (P) ne se substitue pas au classement WS.
 - « Isolant semi-rigide » pour l'épaisseur concernée ou, à défaut, TR50 ce qui correspond au critère de résistance en traction $\sigma_{mt} > 50$ selon la norme NF EN 1607.
- Soit selon le procédé Sarking ROCKCIEL bénéficiant d'un Document Technique d'Application.

Une finition avec un éventuel complément d'isolation par l'intérieur peut être mis en œuvre, sous réserve de respect du § 4.2, par.

- Plaques de plâtre conformément au NF DTU 25.41 (plaques fixées mécaniquement sur ossature rapportée ancrée dans les panneaux CLT intérieurs des Eléments KLH®-CLT nervuré T inversé, avec une éventuelle isolation en laine minérale sous les panneaux CLT, réalisée conformément au NF DTU 45.10.
- Complexe plaques de parement en plâtre-isolant conformément au NF DTU 25.42 (complexe fixés mécaniquement sur une ossature rapportée ancrée dans les panneaux CLT des Eléments KLH®-CLT nervuré T inversé.

4.1.4. Types de couvertures

Les couvertures sont de type « froide ». Leur conception nécessite une ventilation en sous-face de la couverture ou de son support direct, par l'aménagement d'une lame d'air ventilée avec entrée en partie basse de toiture et sortie en partie haute.

Les entrées et sorties d'air, la pente, et les épaisseurs minimales de lame d'air doivent être conforme aux NF DTU en vigueur ou aux Avis Techniques/ Documents Techniques d'Application du procédé de couverture, visés.

Les éléments KLH®-CLT nervurés peuvent être associés :

- aux différents types de couvertures discontinues :
 - ardoises naturelles (NF DTU 40.11)
 - ardoises en fibres-ciment (NF DTU 40.13)
 - tuiles de terre cuite à emboîtement et à glissement (NF DTU 40.21)
 - tuiles de terre cuite à emboîtement à pureau plat (NF DTU 40.211)
 - tuiles canal de terre cuite (NF DTU 40.22)
 - tuiles plates de terre cuite (NF DTU 40.23)
 - tuiles en béton à glissement et à emboîtement longitudinal (NF DTU 40.24)
 - tuiles planes en béton à glissement et à emboîtement longitudinal (NF DTU 40.241)
 - tuiles plates en béton (NF DTU 40.25)
- aux différents types de couvertures discontinues ou continues sur voligeage jointif ou sur panneaux supports :
 - ardoises naturelles (NF DTU 40.11)
 - bardeaux (NF DTU 40.14)
 - tuiles canal de terre cuite (NF DTU 40.22)
 - grands éléments en feuilles et longues feuilles de zinc, d'acier inoxydable étamé, de cuivre ou de plomb (NF DTU 40.4*)
- aux différents types de couvertures discontinues posées sur lambourdes :
 - tôles d'acier nervurées (NF DTU 40.35)
 - tôles d'aluminium nervurées (NF DTU 40.36)
 - plaques profilées en fibres-ciment (NF DTU 40.37)
- aux couvertures sous Document Technique d'Application posées sur liteaux, voliges ou lambourdes visant favorablement l'utilisation sur charpente bois :
 - tuiles métalliques sous DTA ;
 - bacs métalliques totalement supportés sous DTA ;
 - bacs métalliques autoportant à joint serti ou à emboîtement sous DTA (uniquement sur bâtiment ouvert non isolé) ;
 - plaques bitume support de tuile canal sous ATEC ;
 - plaques fibres ciment support de tuile canal sous ATEC ;

La pose de la couverture s'effectue :

- sur contre-lattes (les nervures des éléments KLH®-CLT nervuré sont alors implantées dans le sens de la pente sous chaque contre-latte) ou chevrons (dimensionnés et posés par le charpentier) fixés directement aux éléments KLH®-CLT nervurés (dans le panneau CLT ou ses nervures, en respectant la profondeur d'ancrage nécessaire, soit perpendiculaires, soit parallèles à la pente),
- ou sur complexe isolant suivant un procédé de « Sarking » conformément à son ATEC/DTA.

Les pentes minimales et les longueurs maximales de rampants sont données dans les NF DTU et Avis Techniques / Document Technique d'Application de la couverture associée.

4.2. Complément d'isolation par l'intérieur (isolant sous l'élément KLH®-CLT nervuré)

En complément de l'isolation par l'extérieur, la réalisation d'une isolation rapportée entre les nervures des éléments KLH-CLT nervurés T ou/et sous les éléments KLH®-CLT nervurés H ou T inversé, est possible dans la limite (cf. Fig. B.3a, B3.b, B3c, B.3d, B.3e, B.3f et B.3g) :

- en climat de plaine hors zones très froides, d'un tiers de la résistance thermique totale de la paroi sous le pare-vapeur, en incluant la résistance thermique des tabliers en KLH®-CLT et des nervures. Dans le cas d'utilisation de panneaux de fibres de bois bénéficiant d'un AT/DTA pour l'emploi en isolation thermique de comble sous rampant (cf. § 4.1.3.2), l'isolation rapportée est possible dans la limite d'un quart de la résistance thermique totale de la paroi sous le pare-vapeur, en incluant la résistance thermique des tabliers en KLH®-CLT et des nervures.
- en climat de montagne ou en zones très froides d'un quart de la résistance thermique totale de la paroi sous le pare-vapeur, en incluant la résistance thermique des panneaux KLH®-CLT et des nervures.

Les résistances thermiques sont calculées selon la méthode décrite au § 4.8.

Cette isolation rapportée par l'intérieur est conforme au § 4.1.3.

- Nota 1 : Une zone très froide est définie par une température de base strictement inférieure à - 15 °C, déterminée selon la norme NF P 52-612/CN. Les départements de la zone très froide sont :
 - Le Bas-Rhin, le Haut-Rhin, les Vosges, le Territoire de Belfort, la Moselle et la Meurthe-et-Moselle pour les altitudes > 400 m.
 - Le Doubs, pour les altitudes > 600 m.
 - L'Ain, les Hautes-Alpes, l'Isère, le Jura, la Loire, la Nièvre, le Rhône, la Haute-Saône, la Saône-et-Loire, la Savoie et la Haute-Savoie pour les altitudes > 800 m.

Les zones en climat de montagne, qui sont définies pour une altitude supérieure à 900 m, sont considérées comme zones très froides.

- Nota 2 : selon la destination du bâtiment, l'ensemble isolant + sous-face (faisant écran thermique) doit répondre :
 - Pour les ERP et les locaux régis par le Code du Travail dont le plancher bas du dernier niveau est situé à plus de 8 m : aux critères de sécurité en cas d'incendie définis dans l'Article AM8 de l'arrêté du 06 octobre 2004, consolidé au 24 janvier 2010 ;
 - Pour l'habitation et les locaux régis par le Code du Travail dont le plancher bas du dernier niveau est situé à moins de 8 m : au Cahier du CSTB 3231 (Guide de l'isolation thermique par l'intérieur des bâtiments d'habitation du point de vue des risques en cas d'incendie).

4.3. Conception, coordination et dimensionnement

4.3.1. Conception et coordination

La conception et le calcul des éléments KLH®-CLT nervurés ainsi que les pièces de bois définies au § 4.4.7, sont à la charge du bureau d'études techniques qui doit également fournir un plan de pose complet.

Le bureau d'études, le charpentier en charge de la réalisation de la structure et le couvreur doivent se coordonner afin d'assurer la gestion des interfaces entre leurs activités respectives. Il s'agira par exemple de vérifier l'adéquation des poids propres des matériaux de couverture mis en œuvre, de la faisabilité des fixations et assemblages, etc.

Le support constitué par le charpentier doit faire l'objet d'une acceptation contradictoire avec le couvreur, portant sur les points suivants :

- Planéité du plan de pose avec notamment limitation du désaffleurement entre deux panneaux ± 2 mm, compatible avec la nature des éléments à mettre en œuvre, et notamment l'isolant pour les couvertures ;
- Respect de la pente prescrite par la maîtrise d'œuvre conformément au NF DTU, DTA ou à l'Avis Technique dont relève la couverture adoptée et intégrant notamment les prescriptions de la partie Avis et du Dossier Technique.
- Contrôle de la siccité du support selon le § 8.3 du cahier du CSTB 3814.

La société LIGNATEC fournit une assistance technique sur demande en phase de conception et de préparation d'exécution de la structure (cf. § 2.10 et 4.3).

En l'absence de membrane pare-vapeur sur l'ELEMENT KLH®-CLT NERVURE (cf. § 4.1.3.3 ou § 4.1.3.4), la consultation de la société KLH Massivholz GmbH ou de LIGNATEC est nécessaire pour confirmer que la conception est conforme au présent ATEC.

4.3.2. Dimensionnement des éléments KLH®-CLT nervurés et pièces de bois par le lot « structure »

Le dimensionnement des éléments KLH®-CLT nervurés ainsi que les pièces de bois définies au § 4.4.7, support de couverture, est à la charge du Bureau d'Études Techniques qui doit également fournir un plan de pose complet. Pour les bâtiments ouverts décrits au § 4.5.3.6 et 4.5.3.8, le dimensionnement est réalisé en classe de service 2.

Les éléments KLH®-CLT nervurés constituent un ouvrage continu plan, fixé sur une structure porteuse discontinu, en bois, métal ou béton.

Dans le cas d'une pose « Sarking », les éléments nervurés T et caissons H doivent présenter un tablier supérieur KLH®-CLT d'épaisseur minimale 80mm ou les éléments nervurés T inversés doivent être mis en œuvre dans le sens de la pente au droit des contrelattes : un traçage repère la position des nervures devant recevoir les contrelattes et fixations du procédé « sarking » (entraxe des nervures déterminé selon la densité de fixation du sarking).

4.3.3. Dimensionnement de la couverture par le lot « couverture »

Les fixations des couvertures sont dimensionnées conformément aux NF DTU et Avis Techniques / Documents Techniques d'Application des procédés mentionnés au § 4.1.4 en considérant soit la section de la nervure, soit le tablier supérieur KLH®-CLT comme un support en bois massif de même épaisseur.

Les contrelattes, chevrons et pièces de bois supports de couvertures devront être d'épaisseur suffisante pour garantir l'ancrage des fixations prescrit par le NF DTU ou l'Avis Technique / Document Technique d'Application du procédé de couverture.

La tenue au vent doit être justifiée pour l'ensemble du complexe de couverture (procédé de couverture, contrelattes et pièces de bois support de couverture éventuelles), jusqu'au support en éléments KLH®-CLT nervurés. En fonction des valeurs P_k de résistance caractéristique à l'arrachement des fixations (selon NF P 30-310, dans l'épaisseur de support concerné) et de la densité de fixation, la dépression admissible devra être vérifiée avec un coefficient de sécurité de 2,35 minimum par rapport au vent normal (selon les règles NV65 modifiées, en considérant un vent perpendiculaire aux génératrices en rives, selon les règles NV 65 modifiées), poids propre des éléments et de la couverture déduits (soit poids propre de la couverture - Vent normal) :

$$W_{\text{chantier}} \leq \frac{d \times P_k}{2,35}$$

Avec :

W_{chantier} = poids propre de la couverture - valeur de vent normal en rives, en considérant un vent perpendiculaire aux génératrices, selon les règles NV65 modifiées, propre au chantier (Pa ou N/m²).

d = densité de fixation par m².

P_k = résistance caractéristique à l'arrachement des fixations, selon la norme NF P 30-310 (en N).

4.4. Mise en œuvre

4.4.1. Organisation de la mise en œuvre

Le charpentier a en charge la mise en œuvre des éléments KLH®-CLT nervurés, de ses fixations, des pannes, lambourdes ou chevrons selon le type de couverture retenu (cf. § 4.5 en climat de plaine et § 4.6 en climat de montagne).

Lorsque nécessaire, le pare-vapeur et les isolations intérieures et extérieures sont mises en œuvre par le charpentier, qui assure l'implantation des différents constituants permettant de respecter les prescriptions du présent document concernant l'étanchéité à l'air et les transferts de vapeur d'eau de la paroi.

Le couvreur met en œuvre uniquement l'ouvrage de contrelattes, voliges liteaux, rehausse, couverture et lorsque nécessaire, l'écran de sous-toiture.

4.4.2. Configurations de pose (cf. fig.B.2)

Les éléments KLH®-CLT nervurés positionnés parallèlement ou perpendiculairement à l'égout sont mis en œuvre suivant leurs dimensions nominales (Longueur jusqu'à 16,50 m et largeur de 2,45 à 2,95m, sur demande jusqu'à 3.50 m). Ils reposent sur 2, 3 ou plus de 3 appuis, avec possibilités de porte à faux (cf. figure B.2 et § 2).

Dans le cas des Eléments KLH®-CLT nervurés inversés (KLH®-CLT nervuré T inversé, cf. figure 2), avec ou sans panneau de fermeture, posés parallèlement à la pente, la section, l'entraxe et l'implantation des nervures dépendent du procédé de couverture (cf. § 4.4.7). Les caissons nervurés inversés avec panneau de fermeture, comporte un traçage en atelier symbolisant l'axe de la nervure.

Dans le cas des Eléments KLH®-CLT nervurés inversés (KLH®-CLT nervuré T inversé, cf. figure 2) avec ou sans panneau de fermeture, posés perpendiculairement à la pente, il peut être nécessaire d'ajouter un chevron parallèle à la pente pour servir d'ancrage au procédé de couverture, conformément au NF DTU ou à l'ATEC/DTA du procédé de couverture visé (cf. § 4.4.7). En aucun cas, l'ancrage du procédé de couverture ou de son support ne doit se faire dans le panneau de fermeture en panneau à base de bois de l'élément KLH®-CLT nervuré inversé.

4.4.3. Assemblages des éléments KLH®-CLT nervurés (cf. fig.B.1)

Les assemblages entre éléments KLH®-CLT nervurés d'un même plan sont effectués soit par feuillure à mi-bois dans l'épaisseur du tablier KLH®-CLT, soit par feuillure sur l'une des faces du tablier KLH®-CLT avec interposition d'une bande de liaison en panneau contreplaqué ou 3 plis. Ces dispositions sont complétées par la mise en œuvre de vis à bois électro zinguées de diamètre 6 à 8 mm dont l'espacement est déterminé par le calcul.

Les éléments KLH®-CLT nervurés sont juxtaposés sans jeu, les languettes de liaison présentent un jeu de 2 à 3mm par rapport aux feuillures ou rainures exécutées dans les panneaux.

L'assemblage peut également être réalisé par des vis à double filetage posées à 45°.

Le désaffleure entre panneaux est au maximum de 2mm.

4.4.4. Accessoires complémentaires

Les joints longitudinaux et transversaux sont réalisés selon le §2.9.2, par la mise en œuvre d'une bande adhésive disposée à la jonction des éléments KLH®-CLT nervurés (cf. § 2.9.2).

4.4.5. Fixations des panneaux

La liaison entre les éléments KLH®-CLT nervurés support de couverture et les structures les supportant est assurée par des vis à bois électro-zinguées de diamètre 8 à 10 mm dont l'espacement est déterminé par le calcul (ou boulons de diamètre équivalent dans le cas de structure porteuse métallique).

4.4.6. Mise en œuvre de l'ouvrage pare-vapeur

Dans les cas illustrés en figures B.3a, B.3b, B.3c et B.3d, l'ouvrage pare-vapeur est mis en œuvre conformément au cahier du CSTB 3560_V2 sur le tablier ou le panneau de fermeture supérieur.

En climat de plaine, les configurations illustrées en figures B.3e, B.3f et B.3g, pour des éléments KLH®-CLT nervuré T inversé complètement rempli d'isolant (cf. § 4.1.3.3 et 4.1.3.4), ne comprennent pas de membrane pare-vapeur.

Les traitements des points singuliers de l'ouvrage pare-vapeur sont à réaliser conformément au § 2.12.2.

En climat de plaine, dans le cas où le procédé d'isolation entre chevrons sous Avis Technique ou le procédé « Sarking », prescrit dans son Avis Technique ou Document Technique d'Application la nécessité d'un pare-vapeur, la paroi sera réalisée selon les configurations illustrées en figures B.3a à B.3d.

En climat de montagne, conformément au Guide des couvertures en climat de montagne de juin 2011, l'ouvrage pare-vapeur est systématique (cf. § 4.6.1). Seules les configurations illustrées en figures B.3a à B.3d peuvent être utilisées en climat de montagne.

4.4.7. Pièces de bois structurelles et leurs fixations

Trois types de pièces de bois peuvent prendre appui directement sur les éléments KLH®-CLT nervurés :

- Des chevrons parallèles au rampant, dans le cas de la pose avec chevrons rapportés et isolation entre chevrons ;

- Des pannes/lambourdes ou nervures perpendiculaires au rampant dans le cas de couverture où la ventilation peut se faire par les ondes des plaques ou que la section des ondes n'est pas suffisante (ex. Couvertures en plaques de fibres-ciment selon NF DTU 40.37 ou en plaques sous-tuiles sous DTA) ;
- Des pannes/lambourdes ou nervures perpendiculaires au rampant et surélevées par des pièces ponctuelles de bois lorsque la ventilation ne peut pas se faire par les ondes des plaques (ex. Couverture en plaques nervurées selon NF DTU 40.35 ou NF DTU 40.36).

La fixation des pannes, lambourdes et chevrons entre-eux et sur les panneaux KLH®-CLT est assurée par des vis auto-perceuses de diamètre minimum 6 mm, ayant une longueur telle que la profondeur d'ancrage soit d'au moins 50 mm.

Dans le cas des caissons en T inversé avec ou sans panneau de fermeture, la largeur des nervures (60 mm mini) doit être adaptée pour que les largeurs d'appuis et l'ancrage de ces pièces de bois et des supports de couverture respectent les valeurs prescrites par les NF DTU de la série 40 concerné ou l'ATEC/DTA du procédé de couverture visé.

Ainsi, l'entraxe entre nervures doit également être adaptée au procédé de couverture lors de la production. Les caissons en T inversé avec panneau de fermeture comportent un traçage en atelier symbolisant l'axe de la nervure.

Leur hauteur doit permettre de ménager une lame d'air d'épaisseur égale ou supérieure à celle prescrite par le NF DTU ou le DTA dont relève la couverture envisagée.

Ces pièces de bois et leurs fixations sont dimensionnées et mises en œuvre par le charpentier, conformément aux référentiels techniques de charpente.

4.4.8. Traitement des points singuliers

4.4.8.1. Egouts

Afin de limiter la hauteur des planches d'égout, les avancées de toiture en bas de pente sont réalisées par le prolongement des chevrons dans le système de couverture avec isolation entre chevrons, ou par la mise en œuvre de chevrons d'about dans le procédé « Sarking » (cf. Figure B.4 et B.5).

4.4.8.2. Rives latérales

Les avancées de toiture en rives latérales sont assurées par le dépassement des pannes ou abouts sur lesquels reposent une ou plusieurs rangées de chevrons (cf. Figure B.6).

4.4.8.3. Faîtages

Suivant le sens de pose des éléments KLH®-CLT nervurés, ceux-ci peuvent être ou non supportés par un appui continu au faîtage.

L'assemblage des éléments KLH®-CLT nervurés entre-eux est réalisé par vissage. (cf. Figure B.7)

4.4.8.4. Noues et arêtiers

Suivant le sens de pose des éléments KLH®-CLT nervurés, ceux-ci peuvent être ou non supportés par un appui continu (arêtier).

L'assemblage des éléments KLH®-CLT nervurés entre-eux est réalisé par vissage. (cf. Figure B.8)

4.5. Couvertures en climat de plaine

4.5.1. Isolation

4.5.1.1. Isolation entre Nervures des éléments KLH®-CLT nervuré T inversé sans panneau de fermeture

L'isolant est posé en une ou plusieurs couches disposées entre nervures. L'isolant est posée serrée mais non comprimé dans son épaisseur (égale à la hauteur de nervure) et sur toute sa périphérie. La largeur maximale de l'isolant correspond à l'entraxe entre-nervures et les largeurs/longueurs sont découpés aux dimensions de la cavité augmentée de 5mm, de manière à réaliser un contact continu entre les nervures et l'isolant sur toute la périphérie.

Les panneaux isolants sont bloqués en extrémité par une nervure de fermeture ou un panneau à base de bois conforme au NF DTU 43.4.

4.5.1.2. Isolation rapportée par l'extérieur entre chevrons

L'isolant est posé, selon son épaisseur en 1 ou 2 couches (cf. Fig. B.3a, B.3b, B.3c et B.3f).

L'épaisseur d'isolant est égale à celle du chevron de sorte qu'une fois insérée, la surface de l'isolant arrive à fleur du chevron. L'isolant est découpé à une largeur égale à celle comprise entre les chevrons plus 1 à 2 cm et inséré entre les chevrons. L'isolant ne comporte pas de surfacage.

En partie basse les panneaux isolants sont bloqués en pied.

- Isolant monocouche

L'isolant est posé en une couche répartie entre les chevrons.

- Isolant bicouche

L'isolant est posé en deux couches croisées, l'une posée perpendiculairement à la pente entre les pannes, et la suivante parallèlement à la pente entre les chevrons.

Une ossature rapportée sur les chevrons recevant la couverture (lattage et/ou contre-lattage, voligeage) doit permettre de créer les conditions de ventilation nécessaires (cf. NF DTU ou ATEC/DTA mentionnés au § 4.1.4).

4.5.1.3. Procédé « Sarking »

L'isolant est posé de manière continue sur les éléments KLH®-CLT nervurés (hors recoupement en ERP) :

Dans le procédé « Sarking » les éléments supports de la couverture (contre lattes, liteaux, etc..) sont fixés :

- Soit directement dans le panneau KLH®-CLT au travers de l'isolant pour les éléments KLH®-CLT nervuré ouvert (KLH®-CLT nervuré T) et les éléments KLH®-CLT nervuré caisson (KLH®-CLT caisson H). Dans ce cas, les panneaux KLH®-CLT ont une épaisseur minimale de 80 mm.
- Soit dans la nervure au travers du platelage support pour les éléments KLH®-CLT nervuré ouvert inversé (KLH®-CLT nervuré T inversé). L'épaisseur du chevron-nervure sera de 80 mm au minimum. Ces chevrons-nervures seront positionnés dans le sens de la pente au droit des lignes de fixations du procédé sarking sous DTA. L'espacement entre chevrons-nervures des éléments KLH®-CLT nervurés sera à adapter en fonction de la densité de fixation requise par le DTA du procédé de Sarking.

Les Avis Techniques / Documents Techniques d'Application des procédés d'isolation SARKING sont à respecter tant pour la conception que pour la mise en œuvre.

Dans le cas de la configuration sans membrane pare-vapeur sur Eléments KLH®-CLT nervurés T inversé avec panneau de fermeture en panneaux SWISS KRONO OSB3 (cf. § 4.1.3.4), seul le procédé « Sarking ROCKCIEL » sous DTA est utilisable.

4.5.2. Écran de sous-toiture (climat de plaine uniquement)

La pose d'un écran de sous toiture, certifié QB 25 de classement Sd1 et R2 minimum adapté à l'entraxe des nervures (≤ 90 cm maximum), peut être rendue nécessaire lorsque la fonction écran de sous toiture pour la récupération de la neige poudreuse et évacuation des eaux de fonte vers l'égout est prescrit par les NF DTU et Avis Techniques / Documents Techniques d'Application de la couverture envisagée, et lorsque que les Documents et Pièces Marché le prévoient (DPM). Un ouvrage pare-vapeur est dans ce cas à mettre en œuvre conformément au § 4.4.6.

L'écran souple de sous-toiture est mis en œuvre selon la norme NF DTU 40.29.

4.5.3. Couverture

4.5.3.1. Couverture en ardoises

La conception et la pose de la couverture sont à réaliser conformément aux prescriptions des NF DTU 40.11 ou NF DTU 40.13.

La pose directe des ardoises sur les éléments KLH®-CLT nervurés n'est pas admise.

Les liteaux ou les voliges sont placés et ancrés dans les pièces de bois définies au § 4.4.7.

4.5.3.2. Couverture en bardeaux bituminés

La conception et la pose de la couverture sont à réaliser conformément aux prescriptions du NF DTU 40.14.

Les bardeaux bituminés ne sont jamais mis en œuvre directement sur les panneaux KLH®-CLT comme supports direct de couverture.

Le support direct de couverture (volige ou panneaux à base de bois) suivant § 3.2.2 du NF DTU 40.14, est fixé dans les pièces de bois définies au § 4.4.7 selon le type de conception envisagé.

4.5.3.3. Couverture en tuiles

La conception et la pose de la couverture sont à réaliser conformément aux prescriptions des NF DTU de la série 40.2.

La pose directe des tuiles sur les éléments KLH®-CLT nervurés n'est pas admise.

Les liteaux sont posés et fixés sur les pièces de bois définies au § 4.4.7.

Les dimensions des contre-liteaux sont choisies de façon à ce qu'il subsiste un espace minimal de 2 cm en sous-face de la tuile.

4.5.3.4. Couvertures en plaques nervurées

La conception et la pose de la couverture sont à réaliser conformément aux prescriptions des NF DTU de la série 40.35 et 40.36.

Les conditions de ventilation à respecter sont définies dans ces NF DTU (cf. Fig. B.10b).

Il est nécessaire de poser les plaques sur lambourdes définies au § 4.4.7, pour ménager une lame d'air continue (cf. figure B.10b).

4.5.3.5. Couverture en feuilles et longues feuilles métalliques sur voligeage et ventilation en sous face

La pose des éléments métalliques n'est pas autorisée en contact direct avec les éléments KLH®-CLT nervurés.

La mise en œuvre s'effectue sur chevrons ou tasseaux définis au § 4.4.7, en y fixant un platelage ventilé continu conforme aux NF DTU de la série 40.4* afin de supporter la couverture en feuilles métalliques.

La conception et la pose de la couverture sont à réaliser conformément aux prescriptions des NF DTU de la série 40.4* ou au DTA du procédé de couverture en bac métallique totalement supporté.

4.5.3.6. Couverture en feuilles et longues feuilles métalliques DELTA VM ZINC pour bâtiments ouverts (cf. Fig B.9a et B.9b)

Ce type de mise en œuvre est exclusivement réservé aux toitures froides où les conditions climatiques en sous face de panneaux sont comparables aux conditions climatiques extérieures (bâtiments ouverts ventilés par l'air extérieur - exemple : tribunes ou hangars ouverts non chauffés, etc.).

Une telle conception n'est envisageable qu'avec le procédé de couverture « DELTA VM ZINC » de la société VM Building Solution bénéficiant d'un avis technique en vigueur. On s'y référera particulièrement afin de prendre connaissance :

- de la limitation au climat de plaine en France métropolitaine (hors climat de montagne) ;
- des limites de mise en œuvre, telles les pentes de toiture,

- les éléments et matériaux adaptés à la réalisation de la couverture (systèmes de fixation, écran d'interposition, etc.).

4.5.3.7. Couverture en tuiles métalliques

Il peut être envisagé de réaliser des couvertures avec tuiles métalliques sous AT/DTA.

On se référera aux DTA de ces produits pour en connaître les limitations et préconisations de mise en œuvre.

On limitera leur utilisation à la réalisation de toiture froide, incluant donc la création d'une lame d'air ventilé en sous face du support de couverture rapporté sur les éléments KLH®-CLT nervurés, notamment le recours systématique à un écran de sous toiture.

Les liteaux support des tuiles métalliques sont posés sur des contre-liteaux, sous lesquels est systématiquement prévu un écran de sous-toiture souple, conformément au DTA du procédé de couverture en tuiles métalliques. Les liteaux support des tuiles métalliques sont fixés dans les pièces de bois définies au § 4.4.7.

4.5.3.8. Couverture en bac métallique autoportant à joint serti ou à emboîtement sous DTA (uniquement sur bâtiment ouvert non isolé)

Il peut être envisagé de réaliser des couvertures en bac métalliques autoportants à joint serti ou à emboîtement sous DTA, uniquement sur bâtiment ouvert non isolé, uniquement sur Élément KLH-CLT nervuré T non isolé.

On se référera aux DTA de ces procédés pour en connaître les limitations et préconisations de mise en œuvre.

On limitera leur utilisation à la réalisation de toiture froide, incluant donc la création d'une lame d'air ventilé en sous face du support de couverture rapporté sur les éléments KLH®-CLT nervurés.

Deux mises en œuvre sont possibles :

- Soit les bacs métalliques sont posés sur pattes directement fixées à l'élément porteur. La hauteur des pattes doit permettre de ménager en sous-face des bacs, une lame d'air ventilée d'épaisseur (25 mm mini.) conforme au DTA du procédé de couverture (ex. Procédé Kalzip Droit) ;
- Soit les bacs métalliques sont posés sur pattes fixées à un écarteur ponctuel, eux-mêmes fixés à l'élément porteur. La hauteur des écarteurs doit permettre de ménager en sous-face des bacs, une lame d'air ventilée d'épaisseur (25 mm mini.) conforme au DTA du procédé de couverture (ex. Procédé Kalzip Droit) ;

4.5.3.9. Couverture en plaques de fibres-ciment

La mise en œuvre des couvertures en plaques profilées de fibres ciment est faite conformément aux dispositions du NF DTU 40.37.

Les conditions de ventilation à respecter sont définies dans ce NF DTU.

La pose directe sur les éléments KLH®-CLT nervurés n'étant pas possible, il est nécessaire de poser les plaques sur lambourdes.

Pour les plaques de fibres-ciment support de tuiles se reporter aux DTA correspondant.

Dans le cas où la ventilation par les seules ondes des plaques de fibres-ciment suffit par application du NF DTU 40.37 ou du DTA des plaques de fibres-ciment support de tuiles, les lambourdes peuvent être posées directement sur les panneaux KLH®-CLT (cf. figure B.10a).

Dans le cas contraire, les lambourdes sont posées et fixées dans les pièces de bois définies au § 4.4.7 (cf. figure B.10b).

4.5.4. Traitement des points singuliers

4.5.4.1. Egouts

Afin de limiter la hauteur des planches d'égout, les avancées de toiture en bas de pente sont réalisées par le prolongement des chevrons dans le système de couverture avec isolation entre chevrons, ou par la mise en œuvre de chevrons d'about dans le procédé « Sarking » (cf. Figure B.4 et B.5).

4.5.4.2. Rives latérales

Les avancées de toiture en rives latérales sont assurées par le dépassement des pannes ou abouts sur lesquels reposent une ou plusieurs rangées de chevrons (cf. Figure B.6).

Les isolants de toiture sont arrêtés et maintenus, suivant les cas, par un chevron, une entretoise de fermeture disposées entre pannes ou par l'isolant de façade qui pourra être maintenu par une structure secondaire.

4.5.4.3. Faîtages (cf. fig.B.7)

Suivant le sens de pose des éléments KLH®-CLT nervurés, ceux-ci peuvent être ou non supportés par un appui continu au faitage.

L'assemblage des éléments KLH®-CLT nervurés entre-eux est réalisé par vissage.

Le faitage est traité en pose scellée ou avec closoirs, en prenant soin de préserver une ventilation de sous face.

4.5.4.4. Noues et arêtières (cf. fig.B.8)

Une volige de fond de noue est clouée sur les contre-lattes de chaque versant, et supportera la noue métallique relevée de part et d'autre contre le premier liteau support de la couverture. Pour ces points singuliers de couverture, il y aura lieu de veiller à conserver la ventilation en sous face des éléments.

4.5.4.5. Réalisation d'ouvertures pour pénétrations discontinues (cf. fig.B.11a et 11b)

Pénétration des conduits de fumée et de ventilation, souches de cheminée, châssis d'éclairage et de ventilation.

L'étanchéité aux raccords est réalisée de façon identique à une couverture traditionnelle. Pour le passage des conduits de fumée, la distance de sécurité est garnie d'un matériau isolant incombustible afin de protéger les panneaux et les structures complémentaires.

4.5.4.6. Dispositions relatives à la sécurité incendie dans les ERP

Un recouplement du plan de toiture doit être réalisé par l'interposition d'une barrière étanche au flux thermique, aux effluents gazeux et matières fondues, au droit des écrans de cantonnement. Cette barrière de recouplement est réalisée sur chantier par le prolongement du panneau KLH®-CLT séparatif, ou par une pièce de bois massif d'une épaisseur de 7 cm minimum (cf. figure B.13a et 13b).

4.6. Mise en œuvre en climat de montagne (lot couverture)

4.6.1. Généralités (cf. fig. B12)

Les dispositions du § 4.5 « Mise en œuvre en climat de plaine » s'appliquent pour les configurations illustrées en figures B.3a à B.3d uniquement.

Un pare-vapeur d'une valeur S_d de 57 m (perméance $\leq 0,00158 \text{ g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$) minimum est mis en œuvre systématiquement sur le tablier ou panneau de fermeture supérieur en sous-face de l'isolant rapporté par l'extérieur.

Les types de couverture réalisables sur éléments KLH®-CLT nervurés en climat de montagne, suivant prescriptions des NF DTU associés et le Guide des couvertures en climat de montagne de juin 2011, sont les :

- Ardoises naturelles (NF DTU 40.11) ;
- Bardeaux bituminés (NF DTU 40.14) ;
- Grands éléments en feuilles et longues feuilles de zinc, d'acier inoxydable étamé ou de cuivre (NF DTU 40.4*) ;
- Tôles d'acier nervurées (NF DTU 40.35).

Les éléments de couverture faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un DTA visant une utilisation en climat de montagne sont également utilisables sur éléments KLH®-CLT nervurés. Leur mise en œuvre est décrite dans les Avis Techniques / DTA correspondant.

La conception et la réalisation de couvertures en climat de montagne doivent respecter les préconisations du Guide des couvertures en climat de montagne de juin 2011.

4.6.2. Etanchéité complémentaire mise en œuvre sur platelage bois ventilé en sous-face

Elle doit être citée dans le Document Technique d'Application d'un revêtement d'étanchéité visant la mise en œuvre sur élément porteur en panneaux bois ou à base de bois.

On se référera au Guide des couvertures en climat de montagne de juin 2011 pour intégrer les prescriptions de mise en œuvre de l'étanchéité complémentaire dans la conception de la couverture, notamment la mise en œuvre d'un platelage bois ventilé en sous-face et le traitement des points singuliers.

L'étanchéité complémentaire est placée sur son support mis en œuvre sur des contre-lattes (principe de la double toiture ventilée) posées :

- Soit sur l'isolant dans le cas du Sarking, en respectant le DTA de ce dernier. Ces contrelattes sont ancrées dans les éléments KLH®-CLT nervurés.
- Soit sur les tasseaux ou les chevrons ou les pannes/lambourdes définies au § 4.4.7. Selon l'épaisseur de ces derniers éléments, les fixations de ces contrelattes sont ancrées dans ceux-ci ou dans l'élément KLH®-CLT nervuré. L'ancrage des fixations doit permettre de résister aux efforts de d'arrachement et de cisaillement (cf. § 4.3.3).

4.6.3. Ventilation de la couverture et de l'étanchéité complémentaire, mise en œuvre de l'isolation thermique

La ventilation de la sous-face de la couverture doit être assurée dans tous les cas.

Si un isolant thermique est disposé le long du rampant sur l'élément KLH®-CLT nervuré, un espace ventilé doit être ménagé entre la sous-face du support de l'étanchéité complémentaire, et la surface de l'isolant.

Dans tous les cas, la ventilation doit être assurée par la mise en œuvre de dispositifs appropriés, notamment :

- D'entrées d'air à l'égout dans l'avant-toit, ou à l'aide du pied de versant ;
- D'un faitage ventilé assurant la sortie de l'air en haut de versant ;
- D'une ou plusieurs cheminées de ventilation en haut de versant
- De prises d'air en pignons, lorsque la largeur de la toiture n'excède pas 12 mètres (sans obstacle à la ventilation dans le comble) ;
- De la suppression de tout obstacle à la ventilation dans le comble.

Ce cas n'est possible que s'il existe un espace suffisamment vaste pour permettre la ventilation (cf. § 2.4.1.2 a de la partie 2 du guide du CSTB « Couvertures en climat de montagne » de juin 2011).

4.6.4. Couvertures en toiture froide en climat de montagne

La pose des couvertures est réalisée conformément aux prescriptions du Guide des couvertures en climat de montagne de juin 2011.

Les couvertures sont mises en œuvre en climat de montagne selon le principe de la double toiture ventilée défini dans le guide susmentionné.

4.6.4.1. Couverture en ardoises naturelles (cf. § 4.5.3.1)

Les ardoises naturelles sont mises en œuvre en climat de montagne selon le principe de la double toiture ventilée.

4.6.4.2. Couverture en ardoises fibres-ciment (cf. § 4.5.3.1)

Les ardoises fibres-ciment sont mises en œuvre conformément au DTA de l'ardoise visant son application en climat de montagne.

4.6.4.3. Couverture en bardeaux bituminés (cf. § 4.5.3.2)

La conception et la réalisation de la couverture en climat de montagne sont à envisager sur le principe de la double toiture ventilée.

4.6.4.4. Couvertures en plaques nervurées (cf. § 4.5.3.4)

En climat de montagne, la conception de la toiture doit prévoir la réalisation d'une ventilation conforme au Guide des couvertures en climat de montagne de juin 2011.

4.6.4.5. Couverture en feuilles et bandes métalliques (cf. § 4.5.3.5)

La conception traditionnelle de cette toiture en climat de montagne se fait suivant le principe de la double-toiture ventilée avec étanchéité complémentaire ventilée sur ses deux faces telle que décrite dans les NF DTU de la série 40.4*.

Les couvertures en plomb ne sont pas autorisées pour cette application.

4.6.4.6. Couverture en tuiles métalliques (cf. § 4.5.3.7)

Compte-tenu de leur caractère non traditionnel, ces toitures ne peuvent être envisagées que si le domaine d'emploi de l'Avis Technique ou du DTA du produit envisagé vise leur utilisation en climat de montagne.

4.7. Assistance technique

La société LIGNATEC fournit une assistance technique sur demande (cf. § 2.10 et 4.3).

4.8. Calcul des résistances thermiques permettant de vérifier la règle du 1/3 – 2/3 ou du 1/4 – 3/4

Le coefficient U_p des Eléments KLH-CLT nervuré s'obtient ci-après en tenant compte des coefficients de déperdition linéique liées aux nervures :

$$U_p = \frac{1}{R_{si} + R_u + R_c + R_{se}} + \frac{\sum \psi_i L_i + \sum \chi_j}{A}$$

Où

U_p Coefficient de transmission surfacique global de la paroi isolée, en $W/(m^2.K)$,

R_{si} et R_{se} Résistances superficielles, $m^2.K/W$.

R_u Résistance thermique utile de l'isolation rapportée en partie courante, $m^2.K/W$, définie dans les certificats Acermi.

R_c Résistance thermique des autres éléments de paroi en partie courante (mur support, etc.), en $m^2.K/W$.

ψ_i Coefficient de déperdition linéique correspondant aux éléments d'ossature éventuels et/ ou nervures, déterminé selon les règles Th-U, en $W/(m.K)$.

L_i Longueur des ossatures pour la surface considérée A , en m.

χ_j Coefficient de déperdition ponctuel correspondant aux éléments d'ossature éventuels, déterminé selon les règles Th-U, en W/K

A = Surface de la paroi considérée pour le calcul, en m^2 .

Résistance thermique d'une lame d'air non ventilée

La résistance thermique de la lame d'air non ventilée entre nervures doit être prise en compte dans le calcul de la résistance thermique de l'isolant intérieur.

La résistance thermique d'une lame d'air non ventilée d'après les règles Th-Bat parois opaques sont données ci-après :

Epaisseur en cm de la lame d'air	Résistance thermique ($m^2.K/W$)
0	0
5	0,11
7	0,13
10	0,15
15 et jusqu'à 300mm*	0,16

*Au-delà de 15 mm, la résistance thermique n'augmente plus en raison du phénomène de convection.

Résistance thermique de l'élément porteur, de l'isolant et du plafond

La résistance thermique R en $m^2.K/W$ est calculée à partir de la conductivité thermique λ en $W/m.K$ du produit et l'épaisseur e en mètres, tel que : $R = e/\lambda$

En prenant en compte les conductivités thermiques suivantes :

- $\lambda_{u,KLH} = 0,12 W/(m.K)$;
- $R_{isolant}$ certifiée Acermi – Par exemple :
 - $\lambda_{isolant, laine minérale} = 0,032 W/(m.K)$
 - $\lambda_{isolant, ouate de cellulose} = 0,042 W/(m.K)$
- $\lambda_{u,nervure} = 0,13W/(m.K)$;
- $\lambda_{u,chevron} = 0,13W/(m.K)$;
- $\lambda_{u,Swiss krono OSB3} = 0,13W/(m.K)$
- $\lambda_{plaque de plâtre} = 0,25 W/(m.K)$

Résistance thermique totale

- La résistance thermique totale du complexe est obtenue en faisant la somme de la résistance thermique de chaque couche de la paroi et des résistances superficielles
- La vérification de la règle des « 1/3-2/3 » ou « 1/4-3/4 » est effectuée.

Deux exemples selon la figure B.3a et la figure B.3f ci-après sont présentés en prenant comme hypothèse un isolant en laine minérale :

Exemple 1 selon la figure B.3a :

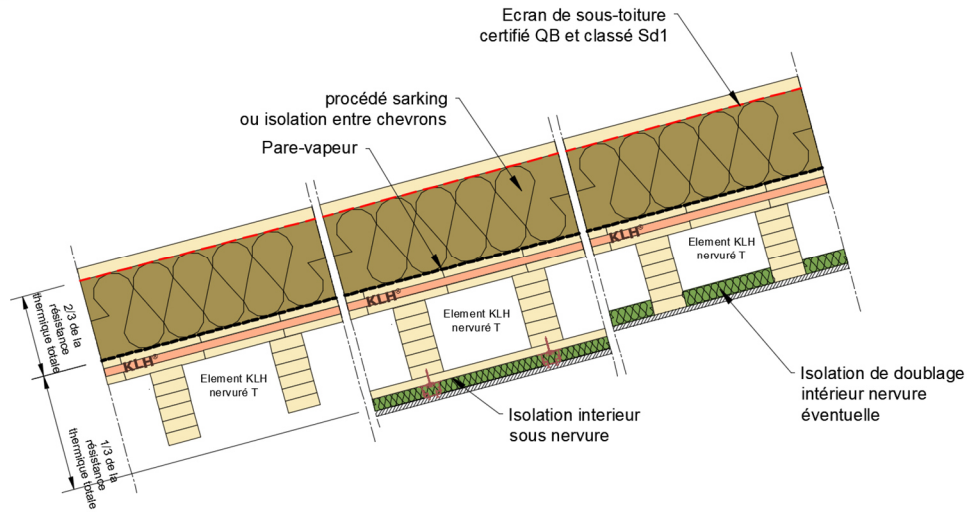


Schéma de gauche : $R_{\text{isolant support de couverture}} \geq 2 \times R_{\text{panneau KLH}}$

Schéma de droite et central : $R_{\text{isolant support de couverture}} \geq 2 \times (R_{\text{plaque de plâtre}} + R_{\text{isolant doublage}} + R_{\text{ lame d'air entre nervures}} + R_{\text{panneau KLH}})$

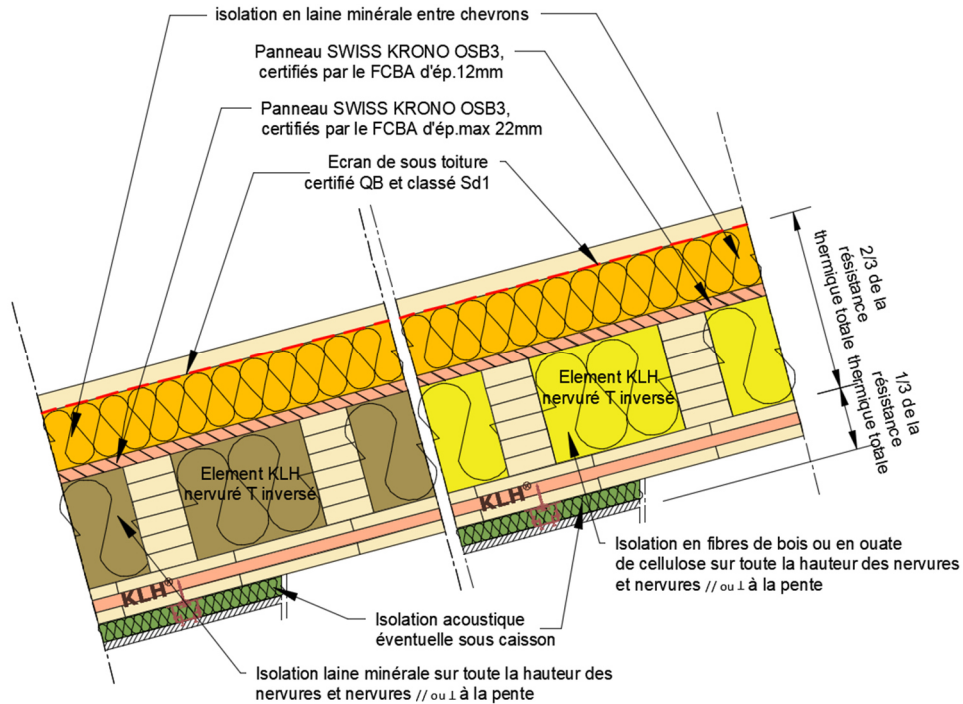
		Figure B.3a		
		schéma de gauche	schéma central	schéma de droite
Paroi au-dessus du pare-vapeur	isolation sarking support de couverture	200mm	200mm	200mm
Paroi en dessous du pare-vapeur	Panneau KLH	80	80	80
	Lame d'air non ventilée	sans	>15mm	>15mm
	Isolation entre nervure	sans	sans	50
	Isolation sous élément nervuré	sans	40	sans
	Plaque de plâtre	sans	12,5	12,5

		Figure B.3a		
		schéma de gauche	schéma central	schéma de droite
Résistances superficielle Rse		0,04	0,04	0,04
Paroi au-dessus du pare-vapeur	Isolation sarking support de couverture	6,25	6,25	6,25
	Σ Résistances externes	6,29	6,29	6,29
Paroi en dessous du pare-vapeur	Panneau KLH	0,67	0,67	0,67
	Lame d'air non ventilée	sans	0,16	0,16
	Isolation entre nervure	sans	sans	1,56
	Isolation sous élément nervuré	sans	1,25	sans
	Plaque de plâtre	sans	0,05	0,05
Résistance superficielle Rsi		0,1	0,1	0,1
Σ Résistances internes		0,77	2,23	2,54

Nota : le calcul est ici réalisé sans tenir compte du pont thermique linéique lié aux nervures, puisque négligeable.

Pour ces trois schémas de la figure B.3a, la règle des 1/3-2/3 est donc vérifiée comme la somme des résistances externes est plus de deux fois supérieures à la somme des résistances internes.

Exemple 2 selon la figure B.3f :



Schémas de gauche sans panneau de fermeture : $R_{\text{isolant entre chevrons}} + R_{\text{isolant entre nervures}} \geq 2 \times (R_{\text{panneau KLH}^\circ} + R_{\text{plaque de plâtre}} + R_{\text{isolant doublage}})$

Schémas de droite avec panneau de fermeture :

$$R_{\text{isolant entre chevrons}} + R_{\text{panneau de fermeture OSB}} + R_{\text{isolant entre nervures}} \geq 2 \times (R_{\text{panneau KLH}^\circ} + R_{\text{plaque de plâtre}} + R_{\text{isolant doublage}})$$

Selon le § 4.1.3.4 :

- Soit $R_{\text{isolant entre nervures}} \leq 6,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, alors $R_{\text{isolant entre chevrons}} > 1,7 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$
- Soit $6,2 < R_{\text{isolant entre nervures}} \leq 12,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ alors $R_{\text{isolant entre chevrons}} > 2,3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

		Figure B.3f	
		schéma de gauche	schéma de droite
		isolation entre nervures avec laine minérale	isolation entre nervures avec ouate de cellulose
Paroi au-dessus du pare-vapeur	isolation laine minérale entre chevrons de sections 80*100mm - entraxe 60cm support de couverture	100mm	100mm
	Panneau OSB3 de fermeture	22 mm	22mm
	isolation entre nervures de sections 12x200mm – entraxe 60cm ($R \leq 12,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$)	200mm de laine minérale	200mm de ouate de cellulose
Paroi en dessus du pare-vapeur	Panneau KLH	80mm	80mm
	Isolation sous Tablier KLH [®]	40mm	sans
	plaque de plâtre	12.5mm	Sans

		Figure B.3f	
		schéma de gauche	schéma de droite
		isolation entre nervures avec laine minérale	isolation entre nervures avec ouate de cellulose
Paroi au-dessus du pare-vapeur	Résistance superficielle Rse	0,04	0,04
	Isolation laine minérale entre chevrons de sections 80*100mm - entraxe 72cm support de couverture	2,33 (≥ 1,7)	2,33 (≥ 1,7)
	Panneau OSB3 de fermeture	0,17	0,17
	Isolation entre nervures de sections 12x200mm – entraxe 72cm	4,14 (< 6,2)	3,53 (< 6,2)
	Σ Résistances externes	6,68	6,07
Paroi en dessus du pare-vapeur	Panneau KLH	0,67	0,67
	Isolation sous Tablier KLH®	1,25	-
	Plaque de plâtre	0,05	-
	Résistance superficielle Rsi	0,1	0,1
	Σ Résistances internes	2,07	0,77

Nota : le calcul considère l'affaiblissement lié aux nervures et chevons complémentaires en intégrant le pourcentage de bois ($b_{nervure} / e_{nervure}$) dans la couche isolée. La résistance moyenne $R_{couche,moy}$ de la couche est déterminée comme suit :

$$\lambda_{couche,moy} = \lambda_{nervure} \times b_{nervure} / e_{nervure} + \lambda_{isolant} \times (1 - b_{nervure} / e_{nervure})$$

$$R_{couche,moy} = h_{isolation} / \lambda_{couche,moy}$$

Pour ces quatre schémas de la figure B.3f, la règle des 1/3-2/3 ou 1/4 -3/4 selon les cas est donc vérifiée comme la somme des résistances externes est plus de deux fois supérieures à la somme des résistances internes.

Tableau B.1 - Élément KLH-CLT nervuré T - Configurations de parois support de couverture avec membrane pare-vapeur (cf. § 4.1.3.1)

Epaisseur minimale tablier CLT	Isolation principale par l'extérieur	Sens des nervures	Isolation complémentaire inférieure entre nervures (partielle ou totale)	Isolation ou finition par l'intérieur	Climat	Bâtiment	Règle de répartition d'isolation (cf. § 4.2)	Figure	§	
80 mm mini	Sarking sous DTA	// ou ⊥ à la pente	-	-	Plaine, zone très froide et montagne ⁽¹⁾	Fermé et chauffé	1/3 – 2/3	B.3a	4.1.3.1	
				Plaque de plâtre DTU 25.41						
				Complexe plaque de plâtre-isolant DTU 25.42						
				Plaque de plâtre DTU 25.41						
Laine minérale DTU 45.10 sur site	Plaque de plâtre DTU 25.41									
Fibres de bois sous ATEC/DTA sur site	Plaque de plâtre DTU 25.41									
60 mm mini	Laine minérale entre chevrons (cf. § 4.1.3.1)		-	-	-	Plaine, zone très froide et montagne ⁽¹⁾	Fermé et chauffé	1/3 – 2/3		B.3a
					Plaque de plâtre DTU 25.41					
		Complexe plaque de plâtre-isolant DTU 25.42								
		Plaque de plâtre DTU 25.41								
Laine minérale DTU 45.10 sur site	Plaque de plâtre DTU 25.41									
Fibres de bois sous ATEC/DTA sur site	Plaque de plâtre DTU 25.41									

- : aucune isolation ou aucune finition.

(1) : le climat de montagne doit être visé par l'ATEC/DTA du procédé de sarking ou de l'isolant en fibres de bois.

Tableau B.2 – Élément KLH-CLT nervuré caisson H – Configurations de parois support de couverture avec membrane pare-vapeur (cf. § 4.1.3.2)									
Epaisseur minimale tablier CLT	Isolation principale par l'extérieur	Sens des nervures	Isolation complémentaire intérieure entre nervures (partielle ou totale)	Isolation ou finition par l'intérieur	Climat	Bâtiment	Règle de répartition d'isolation (cf. § 4.2)	Figure	§
80 mm mini	Sarking sous DTA	// ou ⊥ à la pente	-	-	Plaine, zone très froide et montagne ⁽¹⁾	Fermé et chauffé	1/3 – 2/3	B.3b	4.1.3.2
				Plaque de plâtre DTU 25.41					
				Laine minérale DTU 45.10 + plaque de plâtre DTU 25.41					
			Complexe plaque de plâtre-isolant DTU 25.42						
			-						
			Plaque de plâtre DTU 25.41						
		Laine minérale DTU 45.10 en atelier	Plaine hors zone très froide						
		Laine minérale DTU 45.10 + plaque de plâtre DTU 25.41							
		Complexe plaque de plâtre-isolant DTU 25.42							
Fibres de bois sous ATEC/DTA en atelier	-	Plaine hors zone très froide							
Plaque de plâtre DTU 25.41									
Laine minérale DTU 45.10 + plaque de plâtre DTU 25.41									
Complexe plaque de plâtre-isolant DTU 25.42	1/4 – 3/4	B.3b							
-									
Plaque de plâtre DTU 25.41									
60 mm mini	Laine minérale entre chevrons (cf. § 4.1.3.2)	// ou ⊥ à la pente	-	-	Plaine, zone très froide et montagne ⁽¹⁾	Fermé et chauffé	1/3 – 2/3	B.3b	4.1.3.2
				Plaque de plâtre DTU 25.41					
				Laine minérale DTU 45.10 + plaque de plâtre DTU 25.41					
			Complexe plaque de plâtre-isolant DTU 25.42						
			-						
			Plaque de plâtre DTU 25.41						
		Laine minérale DTU 45.10 en atelier	Plaine, zone très froide et montagne ⁽¹⁾						
		Laine minérale DTU 45.10 + plaque de plâtre DTU 25.41							
		Complexe plaque de plâtre-isolant DTU 25.42							
Fibres de bois sous ATEC/DTA en atelier	-	Plaine, zone très froide et montagne ⁽¹⁾							
Plaque de plâtre DTU 25.41									
Laine minérale DTU 45.10 + plaque de plâtre DTU 25.41									
Complexe plaque de plâtre-isolant DTU 25.42	1/4 – 3/4	B.3b							
-									
Plaque de plâtre DTU 25.41									

- : aucune isolation ou aucune finition.

(2) : le climat de montagne doit être visé par l'ATEC/DTA du procédé de sarking ou de l'isolant en fibres de bois.

Tableau B.3 - Élément KLH-CLT nervuré T inversé avec panneau de fermeture - Configurations de parois support de couverture avec membrane pare-vapeur (cf. § 4.1.3.2)									
Isolation principale par l'extérieur	Sens des nervures	Isolation complémentaire intérieure entre nervures (partielle ou totale)	Isolation ou finition par l'intérieur	Climat	Bâtiment	Règle de répartition d'isolation (cf. § 4.2)	Figure	§	
Sarking sous DTA	// à la pente Entraxe des nervures adapté au procédé de sarking	-	-	Plaine, zone très froide et montagne ⁽¹⁾	Fermé et chauffé	1/3 – 2/3	B.3d	4.1.3.2	
			Plaque de plâtre DTU 25.41						
			Laine minérale DTU 45.10 + plaque de plâtre DTU 25.41						
		Laine minérale DTU 45.10 en atelier	Complexe plaque de plâtre-isolant DTU 25.42						
			-						
			Plaque de plâtre DTU 25.41						
		Fibres de bois sous ATEC/DTA en atelier	Laine minérale DTU 45.10 + plaque de plâtre DTU 25.41						Plaine hors zone très froide
			Complexe plaque de plâtre-isolant DTU 25.42						
			-						
Laine minérale entre chevrons (cf. § 4.1.3.2)	// ou ⊥ à la pente	-	-	Plaine, zone très froide et montagne ⁽¹⁾	Fermé et chauffé	1/3 – 2/3	B.3c		
			Plaque de plâtre DTU 25.41						
			Laine minérale DTU 45.10 + plaque de plâtre DTU 25.41						
		Laine minérale DTU 45.10 en atelier	Complexe plaque de plâtre-isolant DTU 25.42						
			-						
			Plaque de plâtre DTU 25.41						
		Fibres de bois sous ATEC/DTA en atelier	Laine minérale DTU 45.10 + plaque de plâtre DTU 25.41					Plaine, zone très froide et montagne ⁽¹⁾	
			Complexe plaque de plâtre-isolant DTU 25.42						
			-						
Fibres de bois sous ATEC/DTA en atelier	Laine minérale DTU 45.10 + plaque de plâtre DTU 25.41	Plaine, zone très froide et montagne ⁽¹⁾							
	Complexe plaque de plâtre-isolant DTU 25.42								
	-								

- : aucune isolation ou aucune finition.

(3) : le climat de montagne doit être visé par l'ATEC/DTA du procédé de sarking ou de l'isolant en fibres de bois.

Tableau B.4 - Élément KLH-CLT nervuré T inversé - Configurations de parois support de couverture sans membrane pare-vapeur (cf. § 4.1.3.3. et 4.1.3.4)									
Panneau de fermeture	Isolation par l'extérieur	Sens des nervures	Isolation sur toute la hauteur des nervures	Isolation ou finition par l'intérieur	Climat	Bâtiment	Règle de répartition d'isolation	Figure	§
Sans	-	// à la pente si support de couverture par contre-lattage Entraxe des nervures adapté au procédé de couverture	Laine minérale DTU 45.10 sur site	-	Plaine hors zone très froide	Fermé et chauffé	1/3 – 2/3	B.3e	4.1.3.3
				Plaque de plâtre DTU 25.41					
				Laine minérale DTU 45.10 + plaque de plâtre DTU 25.41					
Panneau SWISS KRONO OSB3 avec Sd certifié par le FCBA épaisseur maximale 22 mm	Sarking Rockciel sous DTA, avec R conforme au § 4.1.3.4	// à la pente Entraxe des nervures adapté au procédé de sarking	Laine minérale DTU 45.10 en atelier	-	Plaine hors zone très froide	Fermé et chauffé	1/3 – 2/3	B.3g	4.1.3.4
				Plaque de plâtre DTU 25.41					
				Laine minérale DTU 45.10 + plaque de plâtre DTU 25.41					
Panneau SWISS KRONO OSB3 avec Sd certifié par le FCBA épaisseur 12 mm			Fibres de bois sous ATEC/DTA en atelier Ou Ouate de cellulose sur site	-	Plaine hors zone très froide	Fermé et chauffé	1/4 – 3/4	B.3g	
				Plaque de plâtre DTU 25.41					
				Laine minérale DTU 45.10 + plaque de plâtre DTU 25.41					
Panneau SWISS KRONO OSB3 avec Sd certifié par le FCBA épaisseur maximale 22 mm	Laine minérale entre chevrons (cf. § 4.1.3.1) avec R conforme au § 4.1.3.4	// ou ⊥ à la pente	Laine minérale DTU 45.10 en atelier	-	Plaine hors zone très froide	Fermé et chauffé	1/3 – 2/3	B.3f	
				Plaque de plâtre DTU 25.41					
				Laine minérale DTU 45.10 + plaque de plâtre DTU 25.41					
Panneau SWISS KRONO OSB3 avec Sd certifié par le FCBA épaisseur 12 mm			Fibres de bois sous ATEC/DTA en atelier Ou Ouate de cellulose sur site	-	Plaine hors zone très froide	Fermé et chauffé	1/4 – 3/4	B.3f	
				Plaque de plâtre DTU 25.41					
				Laine minérale DTU 45.10 + plaque de plâtre DTU 25.41					
				Complexe plaque de plâtre-isolant DTU 25.42					

- : aucune isolation.

Figures de l'Annexe Support de couverture

Figures B.1 : Liaisons usuelles entre deux éléments KLH®-CLT nervurés

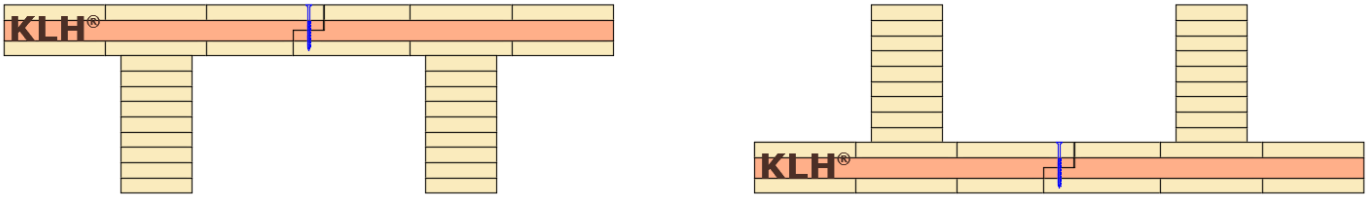


Figure B.1a : Assemblage par mi-bois

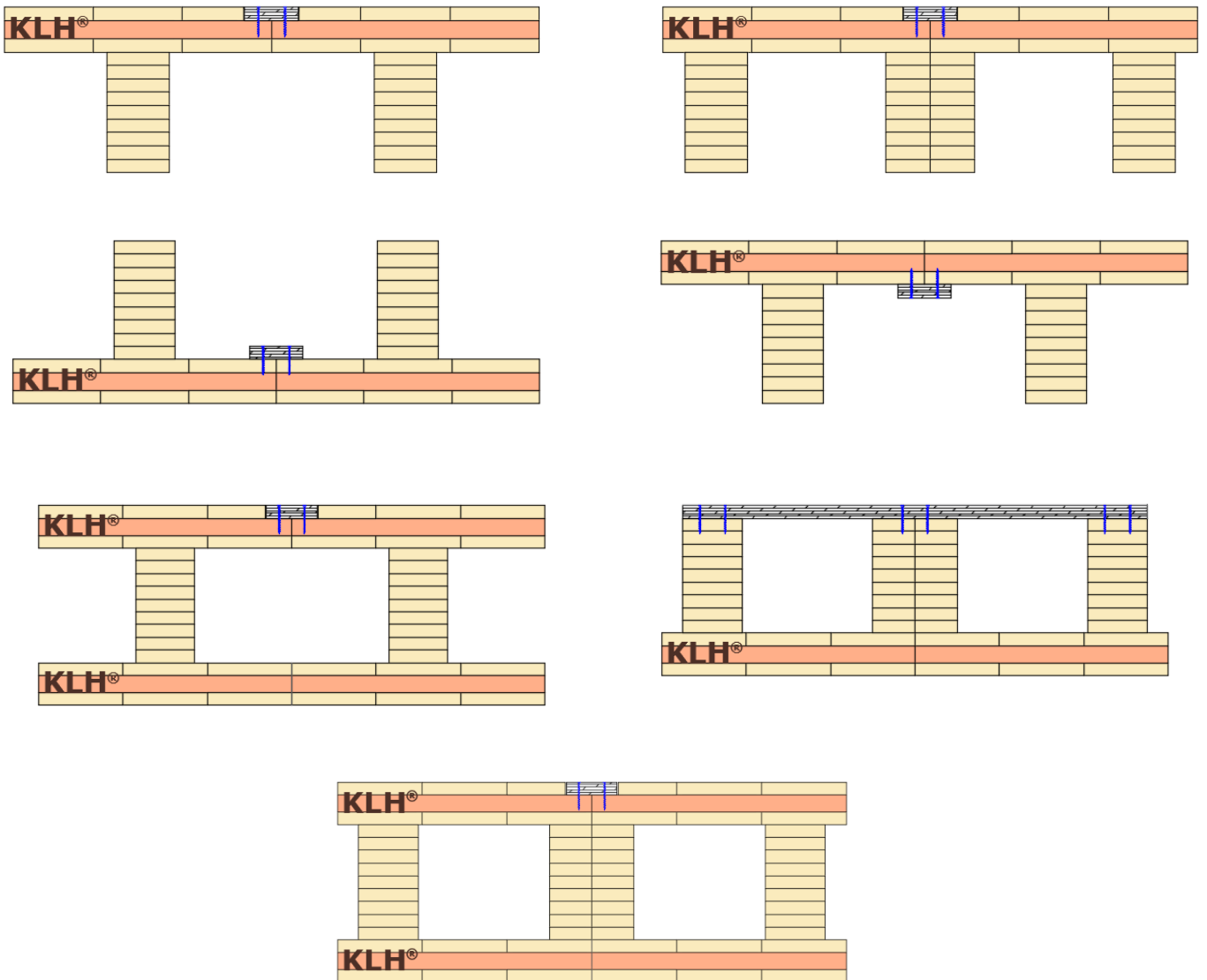


Figure B.1b : Assemblage par languette ou par panneau de fermeture à base de bois conforme au DTU 51.3 ou DTU 43.4

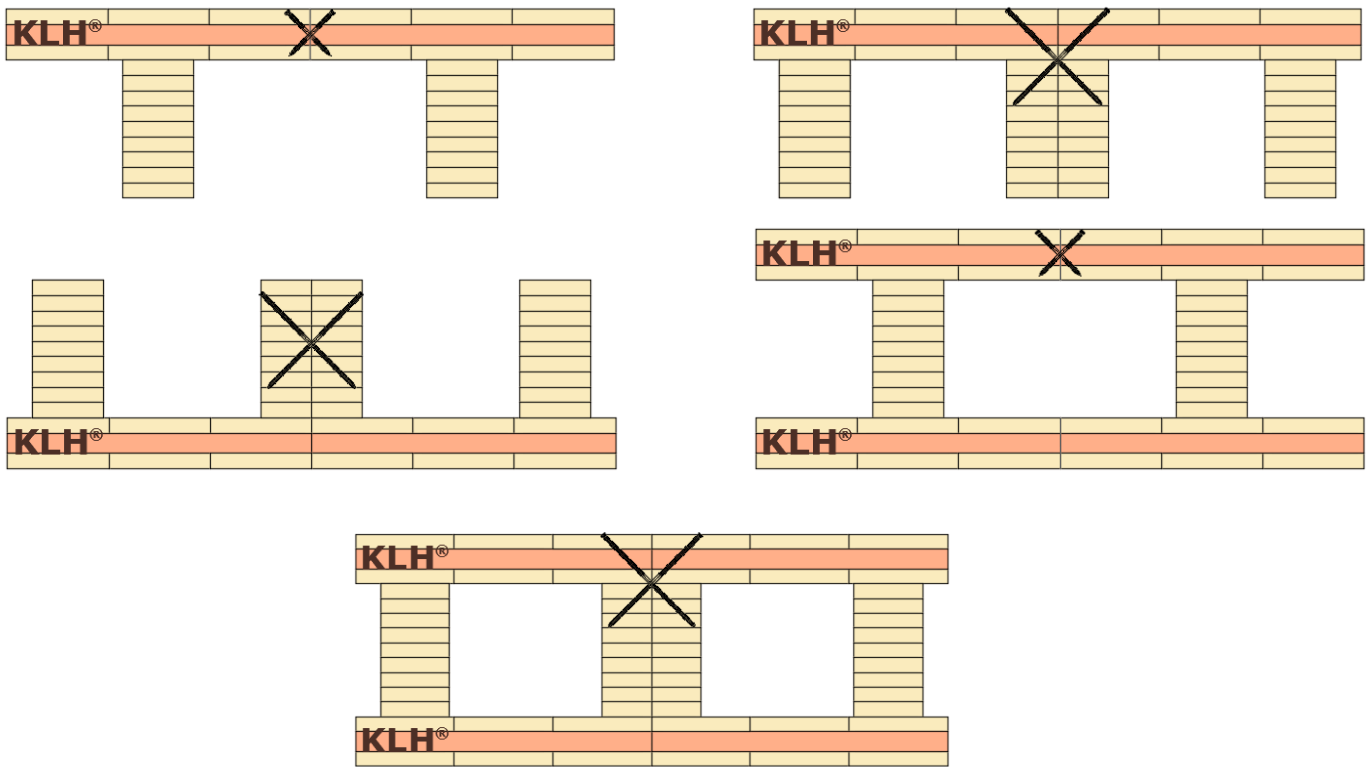
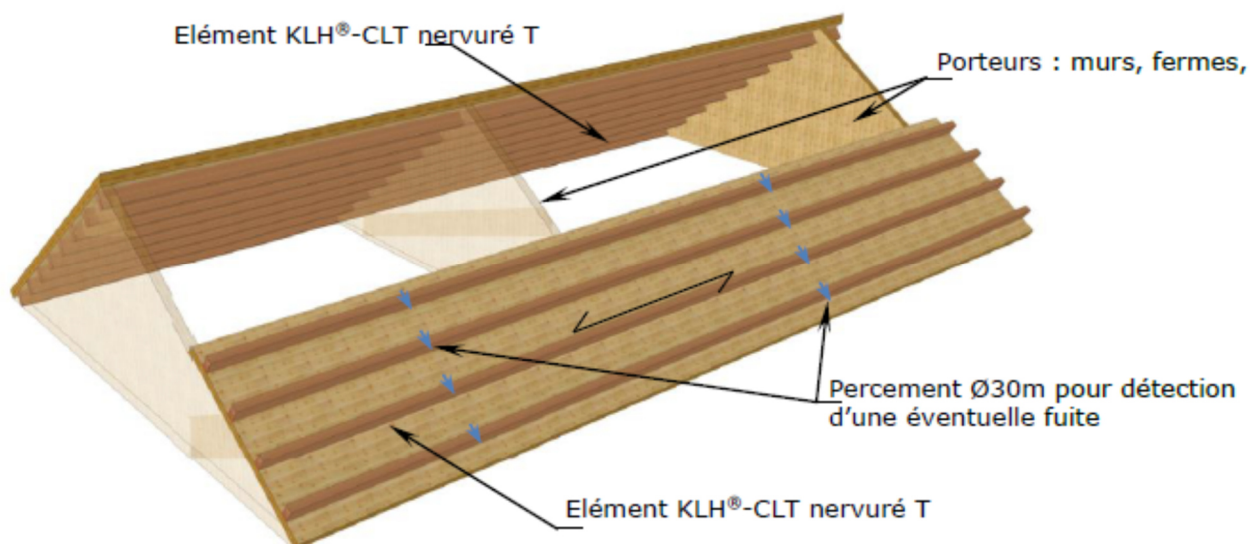
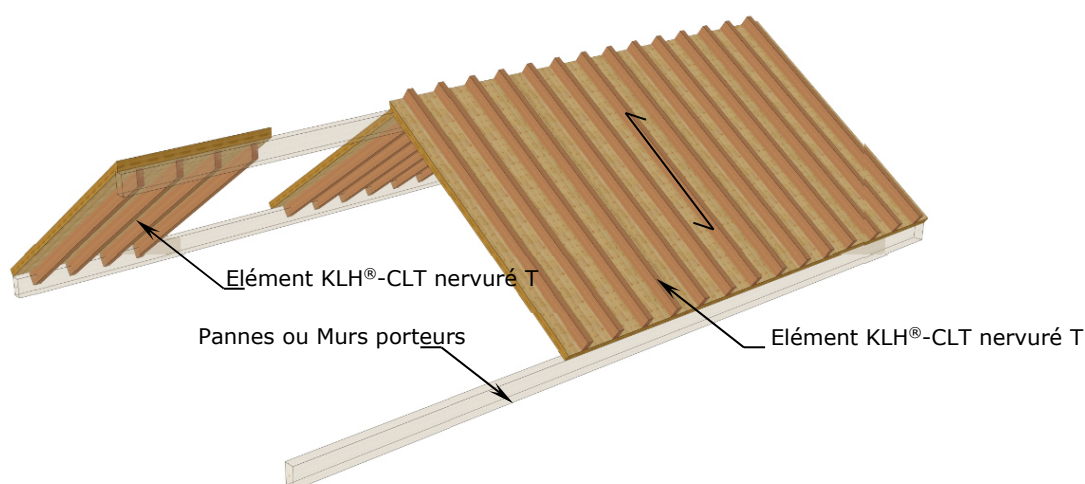


Figure B.1c : Assemblage par vis lardées en diagonale



Nota : Dans le cas des Eléments KLH®-CLT nervurés T inversés sans panneau de fermeture, sont prévus des percements Ø 30 mm réalisés dans les nervures, à mi-portée, permettant d'évacuer les éventuelles eaux d'infiltration.

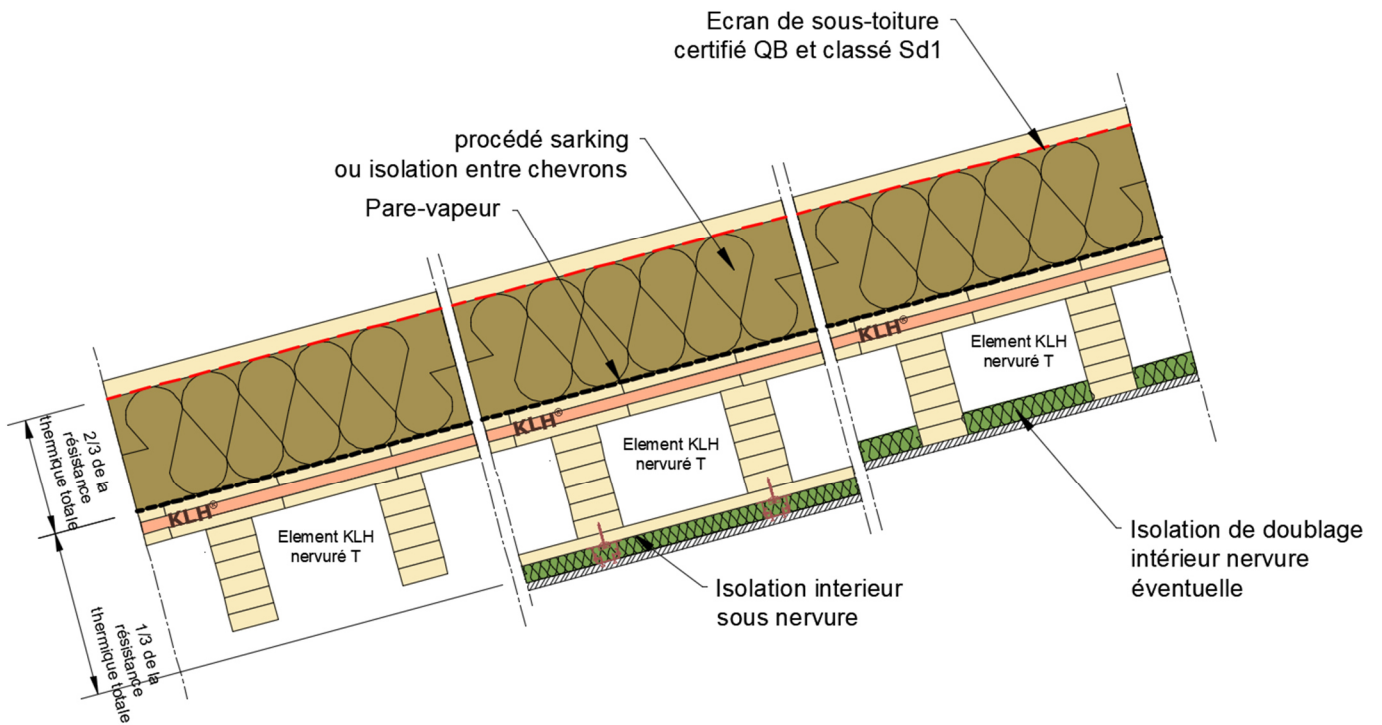
Figure B.2a - Eléments KLH®-CLT nervurés positionnés perpendiculairement à la pente



Nota : En isolation par sarking ou en couverture sur contre-lattes, les nervures des éléments structuraux KLH-CLT nervuré T inversé sont obligatoirement dans le sens de la pente (leur position est déterminée par le procédé de sarking ou par le positionnement des contre-lattes)

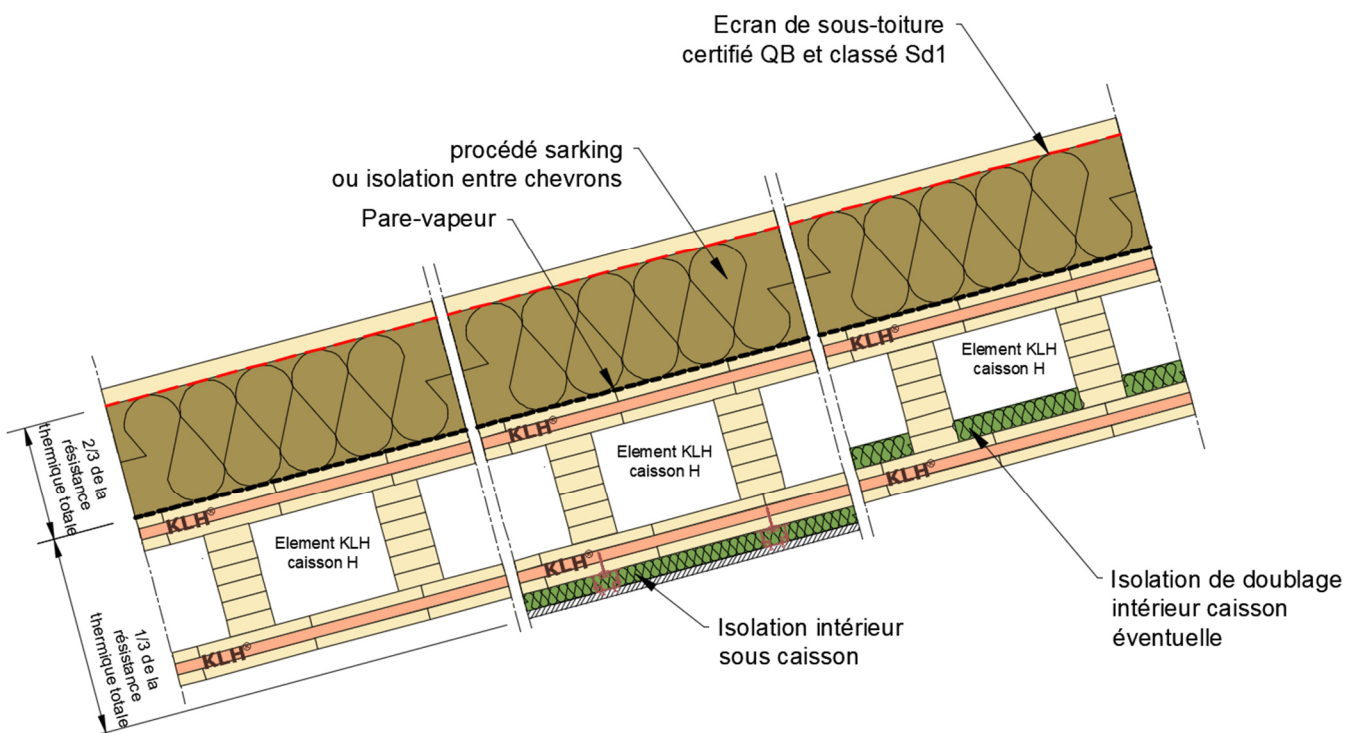
Figure B.2b - Eléments KLH®-CLT nervurés positionnés parallèlement à la pente - Pose en chevron

Figure B.2 - Pose des Eléments KLH®-CLT nervurés



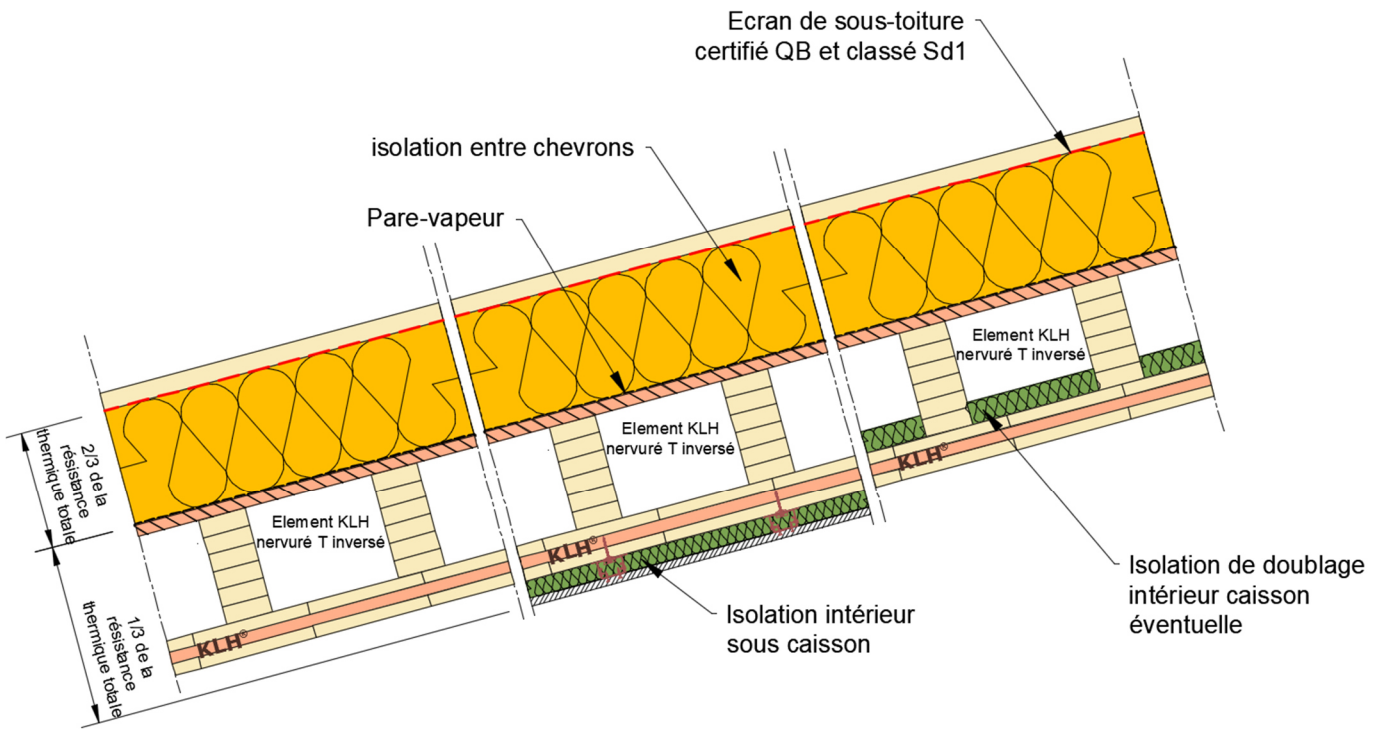
Nota : Dans le cas d'isolation entre nervures par panneaux en fibres en bois sous ATEC, la règle dite du $\frac{1}{4} - \frac{3}{4}$ se substitue à celle du $\frac{1}{3} - \frac{2}{3}$.

Figure B.3a - Pose sur les éléments KLH®-CLT nervuré T avec isolation principale extérieure entre chevrons ou sarking (En sarking, l'épaisseur du panneau KLH-CLT est de 80 mm minimum)



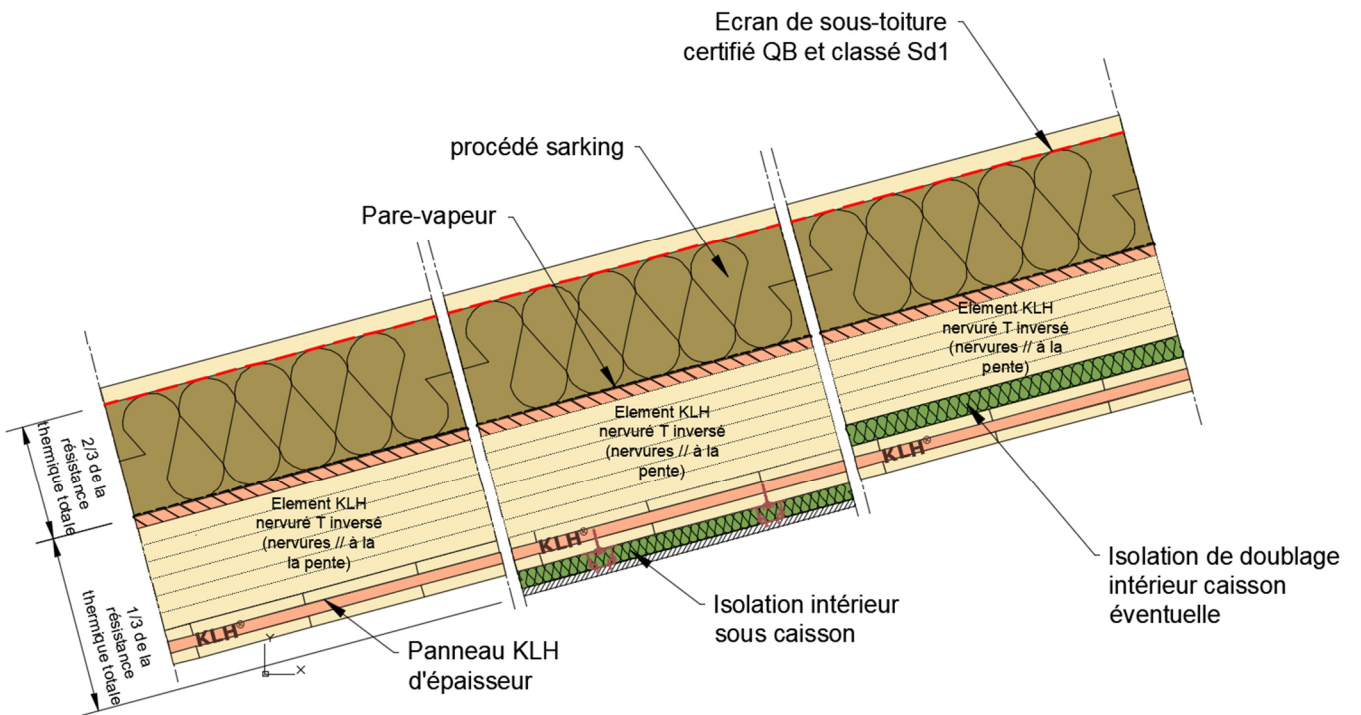
Nota : Dans le cas d'isolation entre nervures par panneaux en fibres en bois sous ATEC, la règle dite du $\frac{1}{4} - \frac{3}{4}$ se substitue à celle du $\frac{1}{3} - \frac{2}{3}$.

Figure B.3b - Pose sur les éléments KLH®-CLT nervuré caisson H avec isolation principale extérieure entre chevrons ou sarking (En sarking, l'épaisseur du panneau KLH-CLT supérieur est de 80 mm minimum)



Nota : Dans le cas d'isolation entre nervures par panneaux en fibres en bois sous ATEC, la règle dite du 1/4 - 3/4 se substitue à celle du 1/3-2/3.

Figure B.3c - Pose sur les éléments KLH®-CLT nervuré T inversé avec isolation principale extérieure entre chevrons



Nota : Dans le cas d'isolation entre nervures par panneaux en fibres en bois sous ATEC, la règle dite du 1/4 - 3/4 se substitue à celle du 1/3-2/3.

Figure B.3d - Pose sur les éléments KLH®-CLT nervuré T inversé avec isolation principale extérieure en sarking. (Les nervures des éléments structuraux sont dans le sens de la pente et l'entraxe est déterminé par le procédé de sarking)

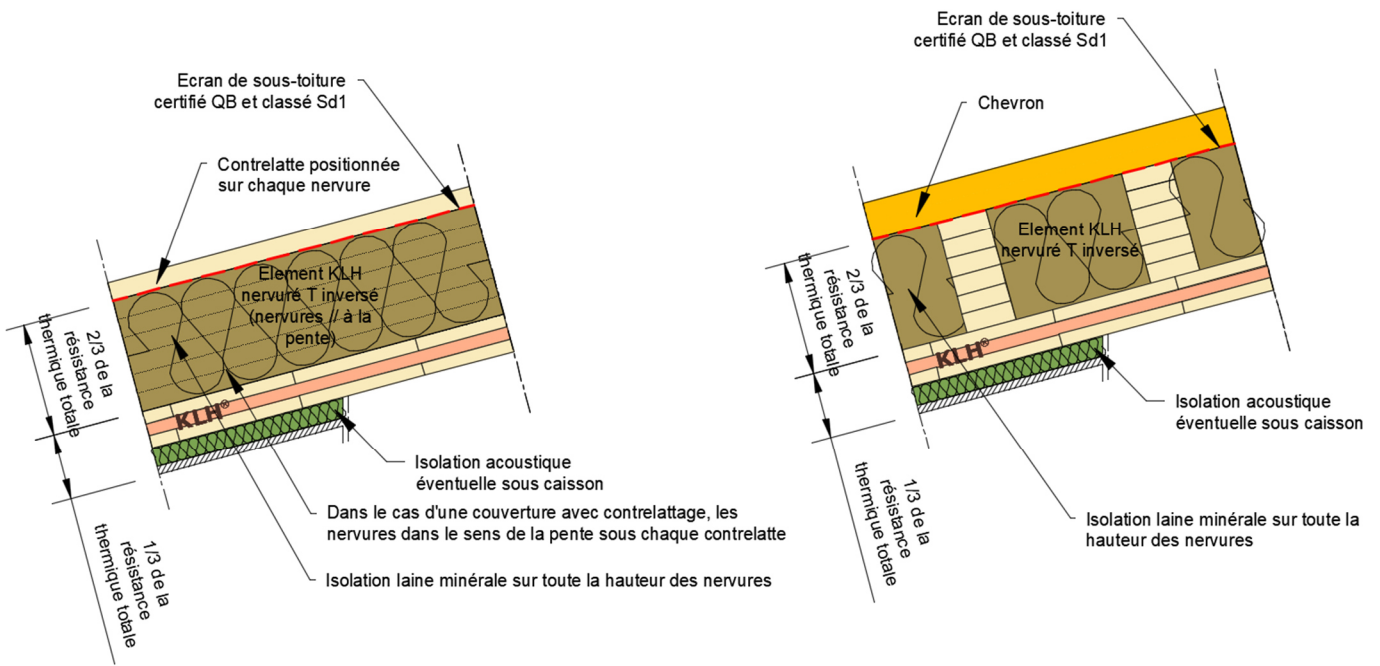
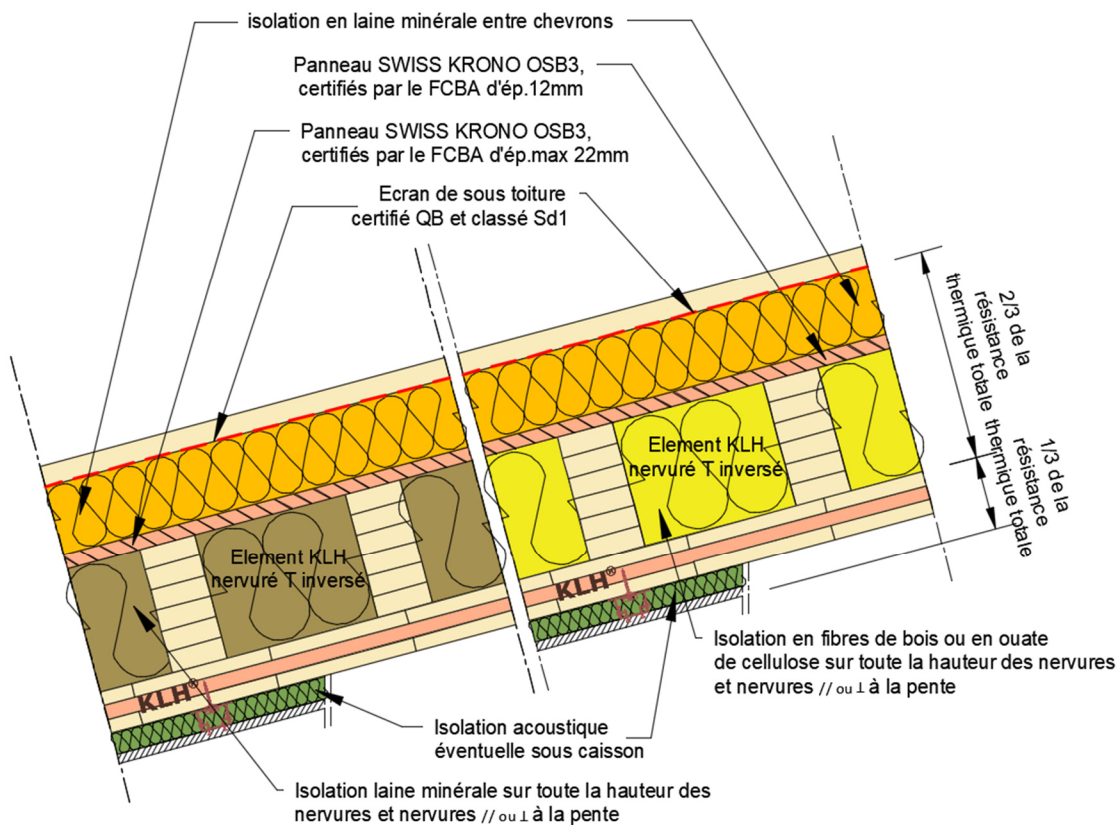


Figure B.3e - Pose sur les éléments KLH®-CLT nervuré T inversé sans isolation rapportée au-dessus des nervures conception de paroi sans membrane pare-vapeur (uniquement en climat de plaine)

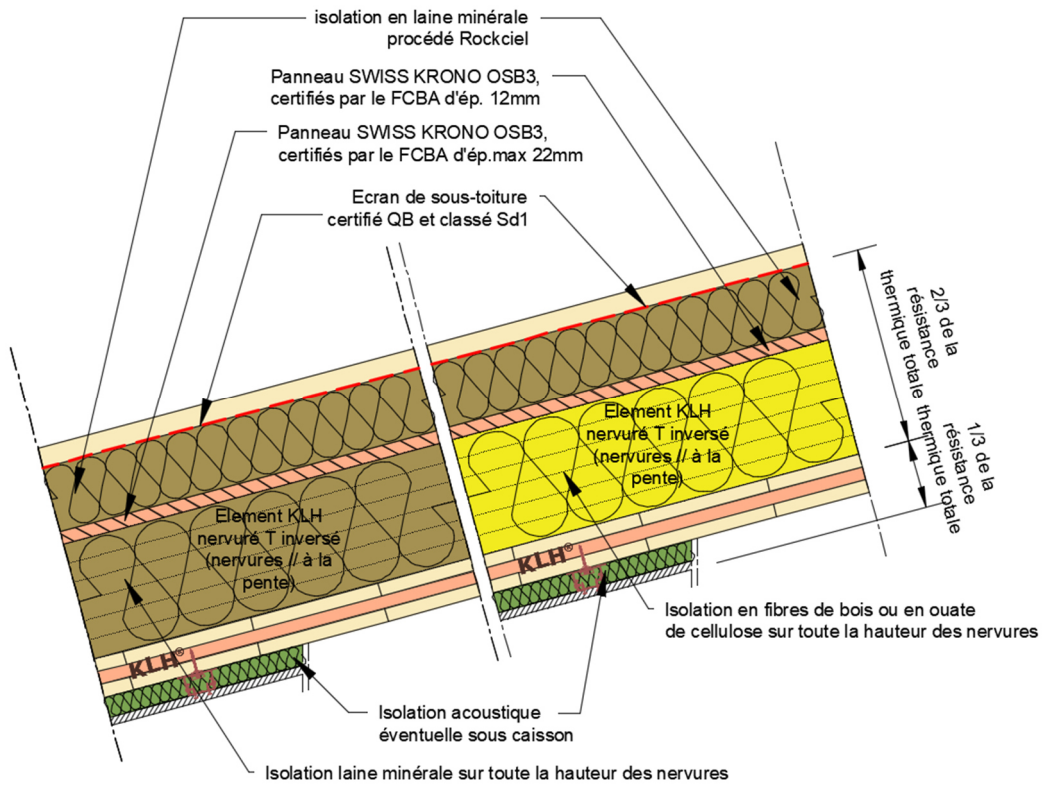


Nota 1 : Dans le cas d'isolation entre nervures par panneaux en fibres en bois sous ATEC, la règle dite du ¼ - ¾ se substitue à celle du ⅓-⅔.

Nota 2 : L'isolation en laine minérale entre chevrons doit présenter une résistance minimale selon la résistance de l'isolation présente dans l'éléments KLH®-CLT nervuré T inversé (cf. § 4.1.3.4)

Nota 3 : L'isolation en fibres de bois ou en ouate de cellulose placées entre nervures est conforme aux ATEC du GS 20 cités au § 4.1.3.4.

Figure B.3f - Pose sur les éléments KLH®-CLT nervuré T inversé avec isolation rapportée par l'extérieure entre chevrons conception de paroi sans membrane pare-vapeur (uniquement en climat de plaine)



Nota 1 : Les nervures des éléments structuraux sont dans le sens de la pente et l'entraxe est déterminé par le procédé de sarking « Sarking Rockciel »

Nota 2 : L'isolation du procédé « Sarking Rockciel » doit présenter une résistance minimale selon la résistance de l'isolation présente dans l'éléments KLH®-CLT nervuré T inversé (cf. § 4.1.3.4)

Nota 3 : L'isolation en fibres de bois ou en ouate de cellulose placées entre nervures est conforme aux ATEC du GS 20 cités au § 4.1.3.4.

Figure B.3g - Pose sur les éléments KLH®-CLT nervuré T inversé avec isolation rapportée par l'extérieur en sarking Rockciel sous DTA - conception de paroi sans membrane pare-vapeur (uniquement en climat de plaine)

Figure B.3 – Différentes configurations de pose

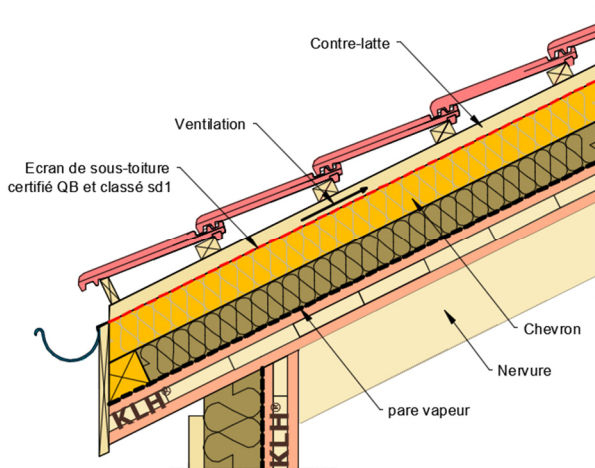


Figure B.4a - Avancée avec élément KLH®-CLT nervuré T ou caisson avec nervure en retrait

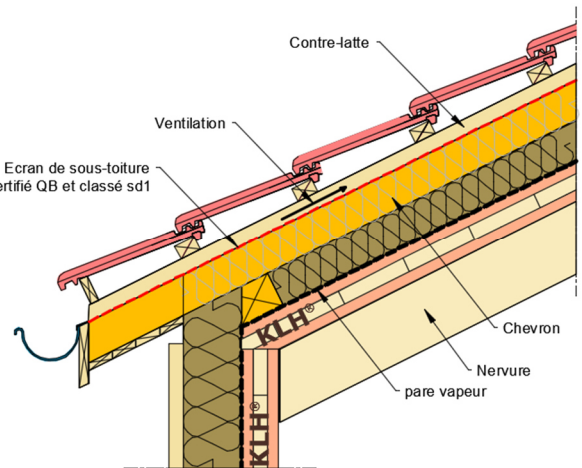


Figure B.4b - Avancée avec chevron d'about

Figure B.4 - Avancées de toiture en égout climat de plaine sur élément nervuré T ou caisson H

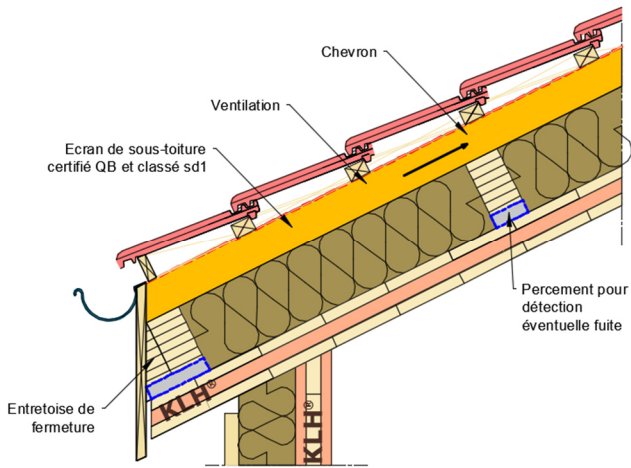


Figure B.5a - Avancée avec support K LH®-CLT

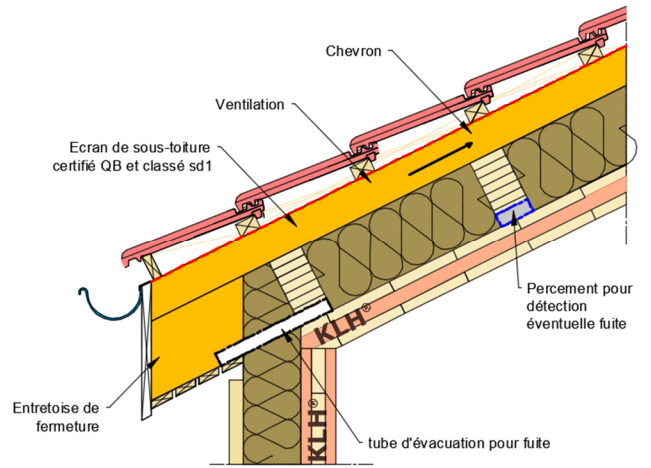


Figure B.5b - Avancée avec chevron d'about

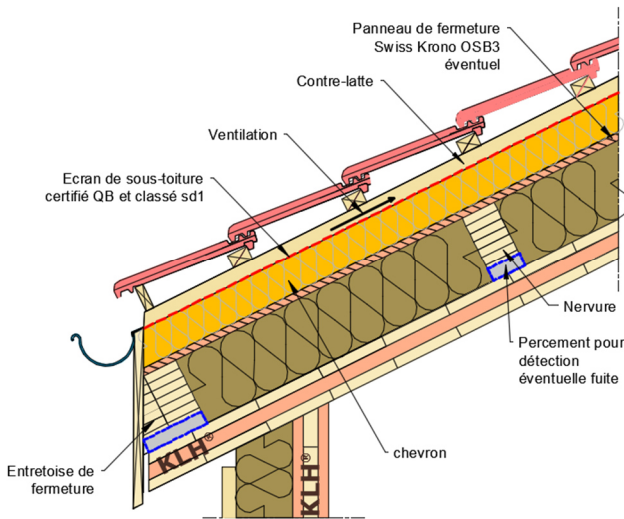


Figure B.5c - Avancée isolant bicouche

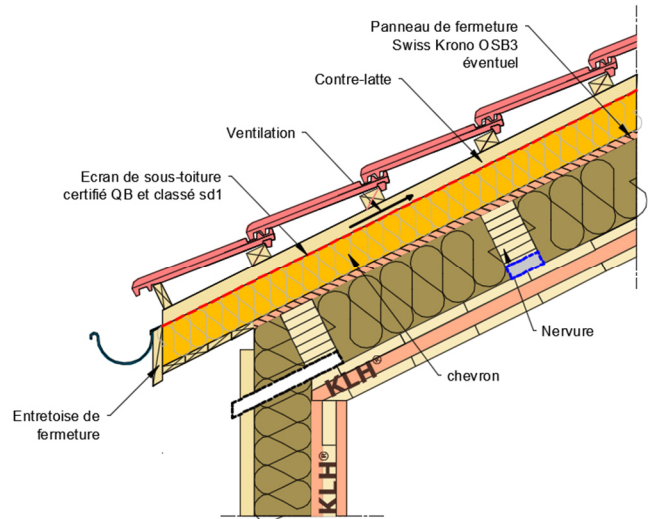


Figure B.5d - Avancée isolant bicouche

Figure B.5 - Avancées de toiture en égout - Procédé « Pannes-chevrons » sur élément nervuré T inversé Climat de plaine

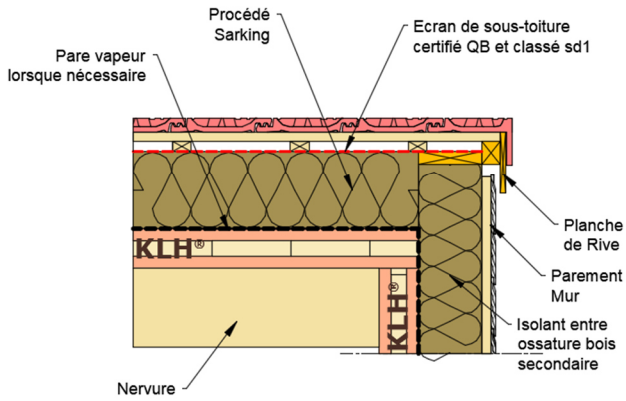


Figure B.6a - rive sans débord sur élément KLH®-CLT nervuré T

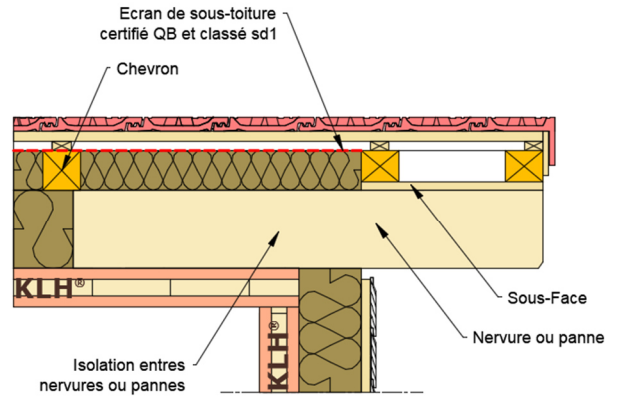


Figure B.6b - rive avec débord sur élément KLH®-CLT nervuré T inversé - cas sans membrane pare-vapeur - Isolation entre chevron présentant une résistance thermique minimale (cf. § 4.1.3.4)

Figure B.6 - Détail de rive - climat de plaine

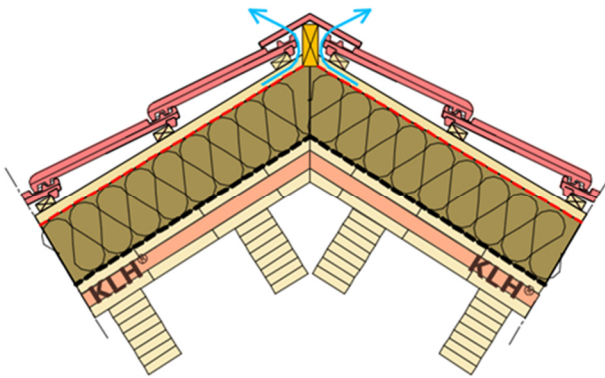


Figure B.7a - Faîtage en technique « SARKING » sur élément KLH®-CLT nervuré T - Cas avec membrane pare-vapeur

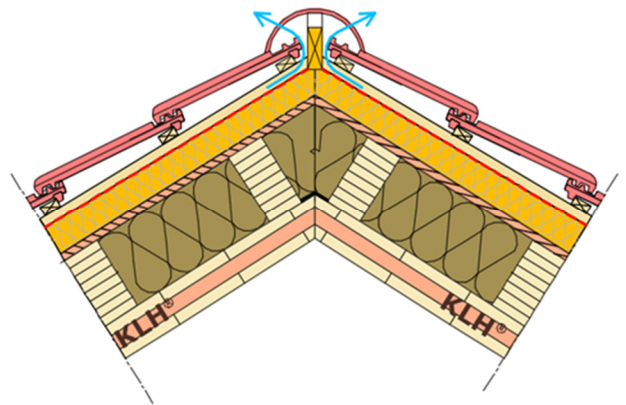


Figure B.7b - Faîtage avec pannes-chevrons sur élément KLH®-CLT nervuré T inversé - cas sans membrane pare-vapeur - Isolation entre chevron présentant une résistance thermique minimale (cf. § 4.1.3.4)

Figure B.7 - Détail de faîtage - climat de plaine

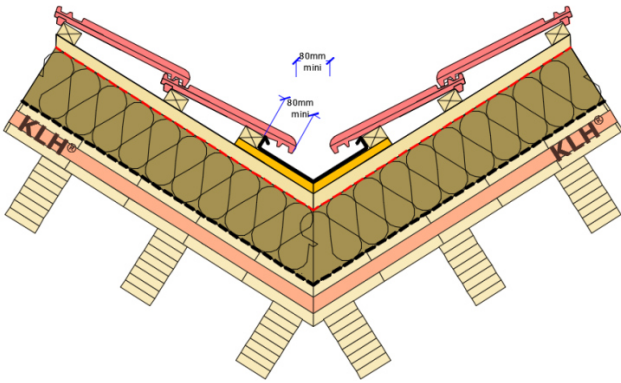


Figure B.8a - Noue en technique « SARKING » sur élément KLH®-CLT nervuré T – Cas avec membrane pare-vapeur

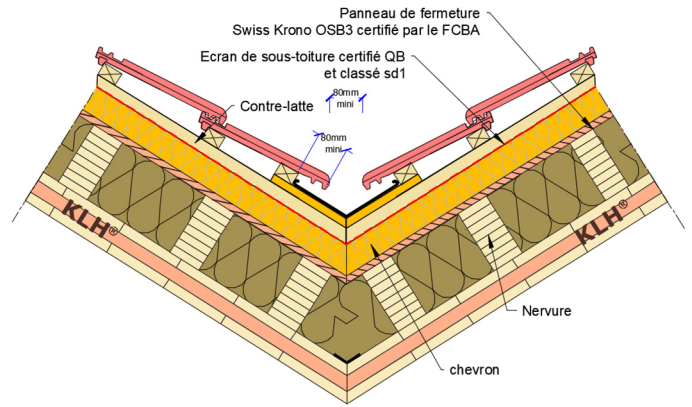


Figure B.8b - Noue avec pannes-chevrons sur élément KLH®-CLT nervuré T inversé – cas sans membrane pare-vapeur – Isolation entre chevron présentant une résistance thermique minimale (cf. § 4.1.3.4)

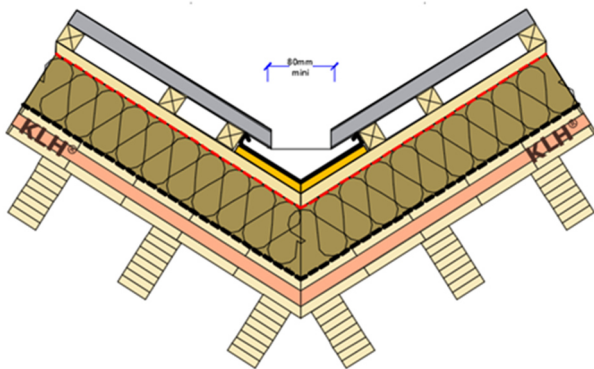


Figure B.8c - Noue en technique « SARKING » sur élément KLH®-CLT nervuré T en couverture en plaques profilées fibres-ciment – Cas avec membrane pare-vapeur

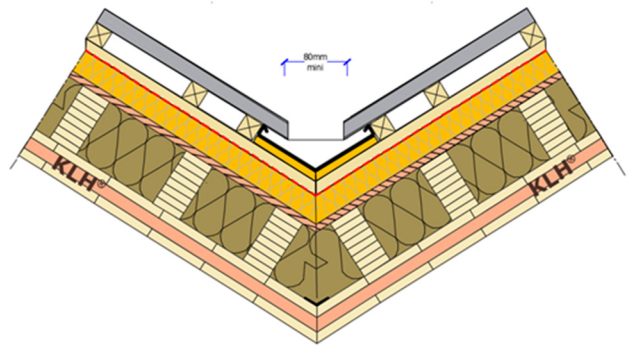


Figure B.8d - Noue avec pannes-chevrons sur élément KLH®-CLT nervuré T inversé en couverture en plaques profilées fibres-ciment – cas sans membrane pare-vapeur – Isolation entre chevron présentant une résistance thermique minimale (cf. § 4.1.3.4)

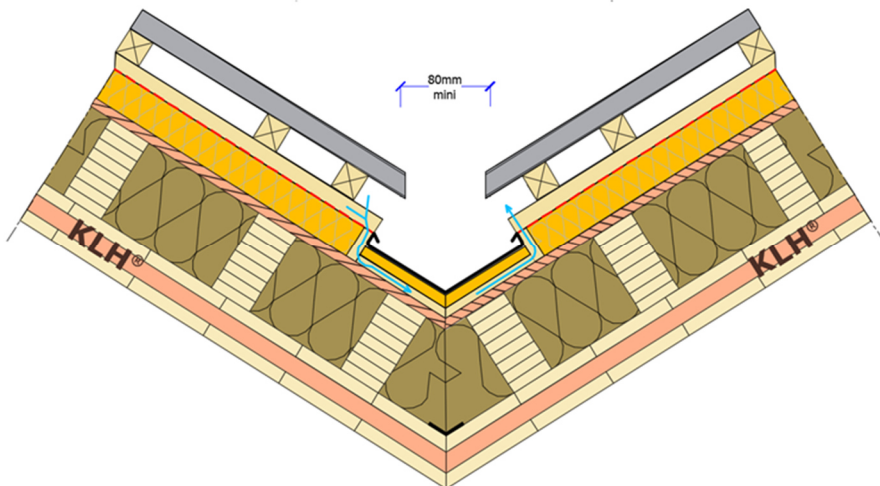


Figure B.8e - Noue encaissée avec pannes-chevrons sur élément KLH®-CLT nervuré T inversé en couverture en plaques ondulées ou nervurées (plaques nervurées acier ou aluminium, plaques ondulées et profilées fibres-ciment) – cas sans membrane pare-vapeur – Isolation entre chevron présentant une résistance thermique minimale (cf. § 4.1.3.4)

Figure B.8 - Détail de noue – climat de plaine

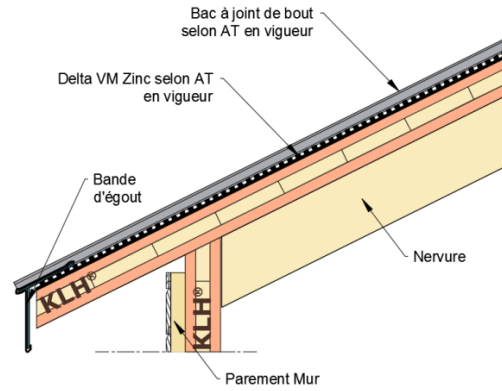


Figure B.9a - Détail d'égout uniquement en bâtiment ouvert - Climat de plaine - Elément K LH®-CLT nervuré T ventilé en sous-face Cf § 4.5.3.6

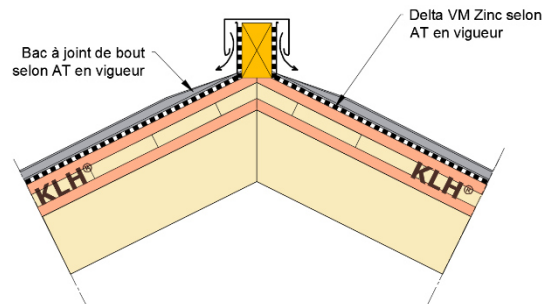
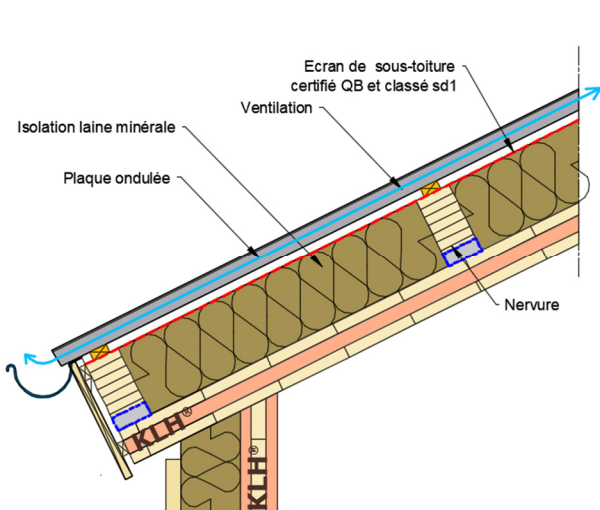
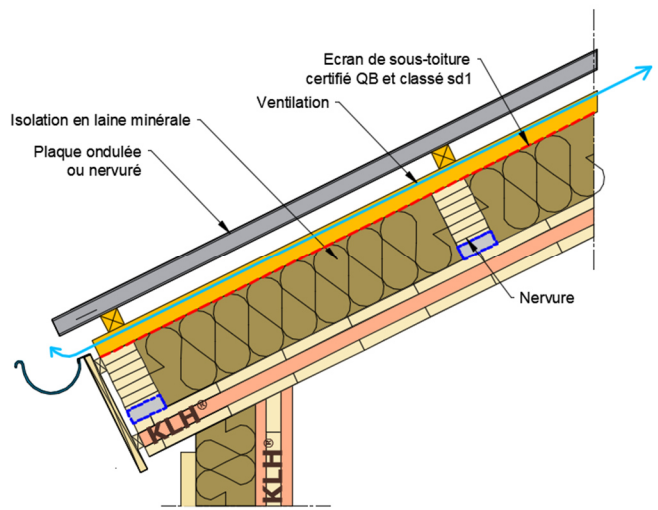


Figure B.9b - Détail de faitage uniquement en bâtiment ouvert - Climat de plaine Elément K LH®-CLT nervuré T ventilé en sous-face - Cf § 4.5.3.6



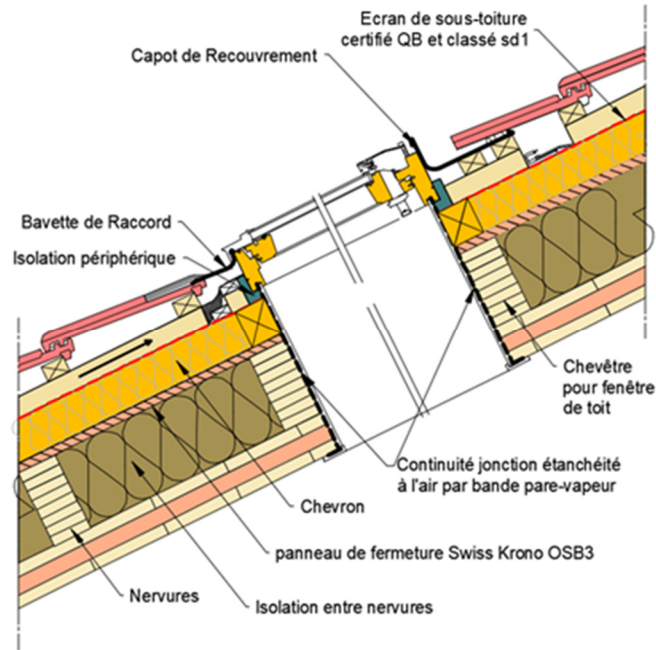
Nota : Sont prévus des percements Ø 30 mm réalisés dans les nervures, à mi-portée, permettant d'évacuer les éventuelles eaux d'infiltration.

Figure B.10a - Couverture en plaques profilées fibres-ciment avec hauteur de ventilation d'ondes suffisante - Climat de plaine - l'entraxe des nervures dépend du procédé de couverture en plaque ondulée



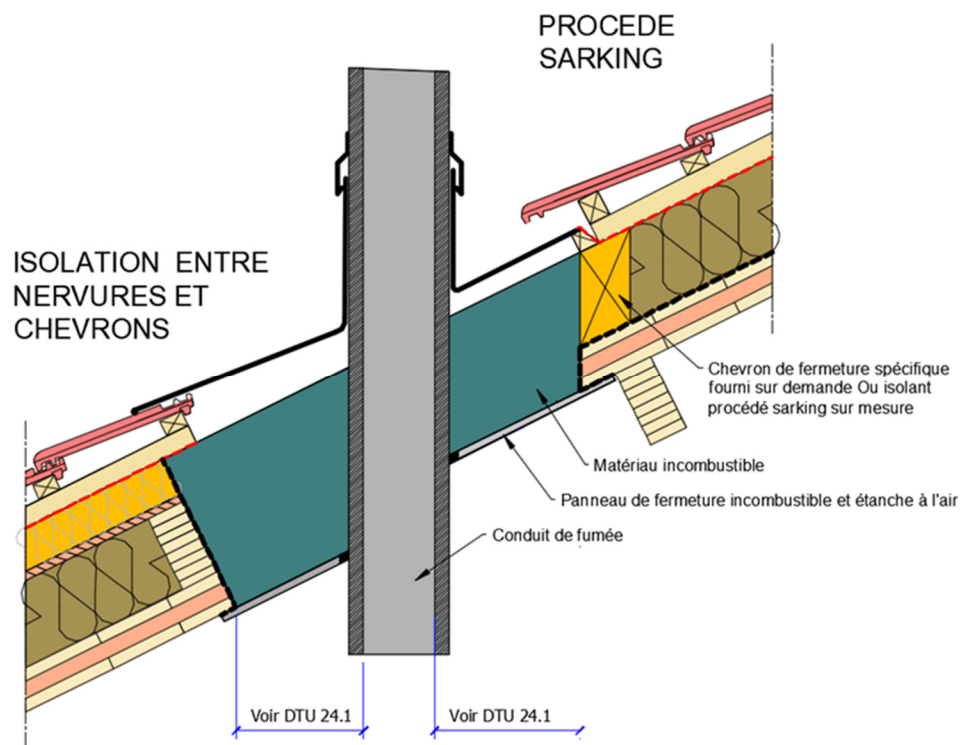
Nota : Sont prévus des percements Ø 30 mm réalisés dans les nervures, à mi-portée, permettant d'évacuer les éventuelles eaux d'infiltration.

Figure B.10b - Couverture en plaques ondulées ou nervurées avec chevron de ventilation - Climat de plaine (plaques nervurées acier ou aluminium, plaques ondulées et profilées fibres-ciment) Nota : Sont prévus des percements Ø 30 mm réalisés dans les nervures, à mi-portée, permettant d'évacuer les éventuelles eaux d'infiltration.



Nota : La fenêtre de toit est fixée à la charpente et le détail de l'écran de sous-toiture en tête du châssis est réalisé conformément au NF DTU 40.29.

Figure B.11a - Ouverture dans toiture avec chevrons sur élément nervuré T inversé.



Nota : Le détail en tête de la pénétration est réalisé conformément au NF DTU 40.29.

Figure B.11b - Pénétration (cf. cahier du CSTB 3816)

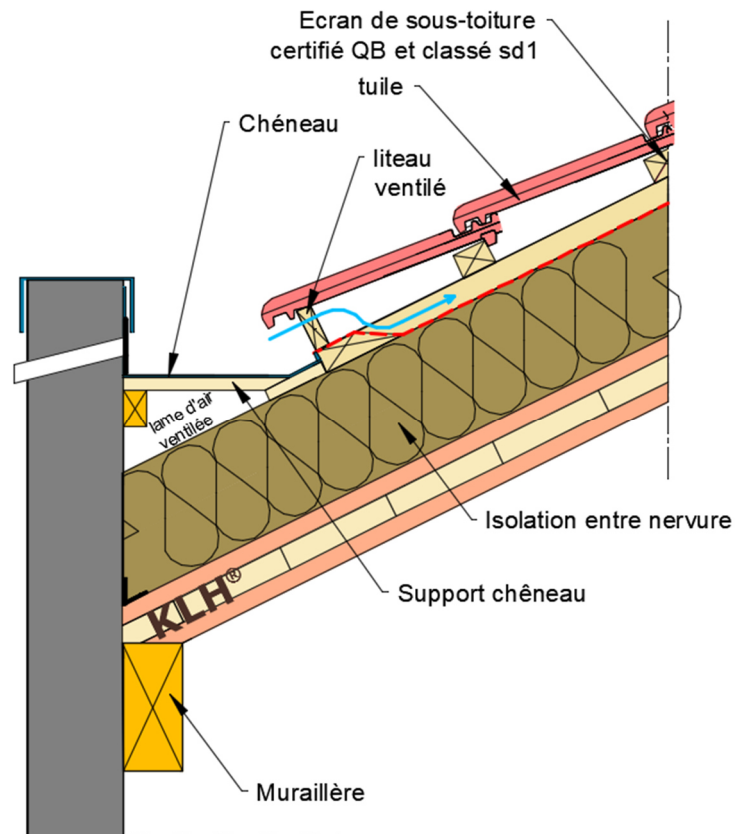


Figure B.11c - Détail de raccord bas de pente sur mur béton

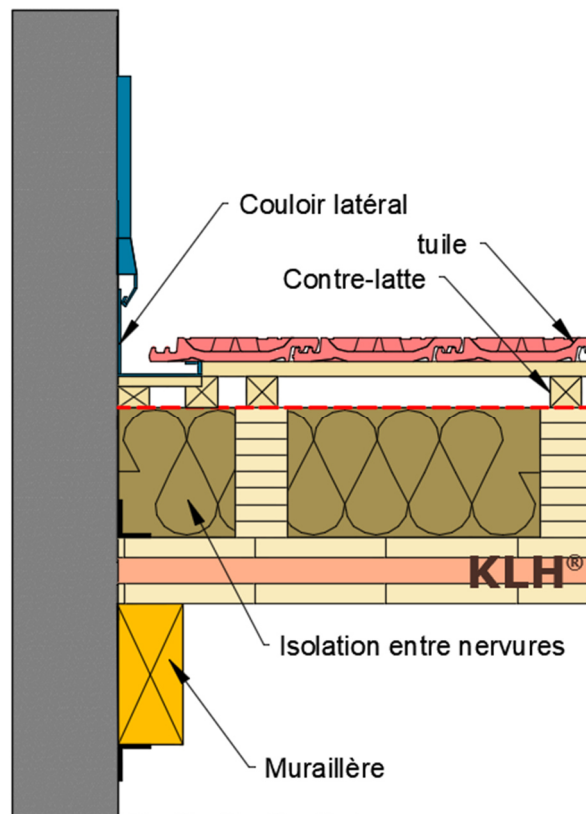


Figure B.11d - Détail de raccord en rive sur mur béton

Figure B.11 - Détails sur ouvertures, pénétrations et raccords - Climat de plaine

Toitures Montagne

Etanchéité complémentaire sur platelage bois massif ou panneau suivant le "Guide des couvertures en climat de montagne de juin 2011"

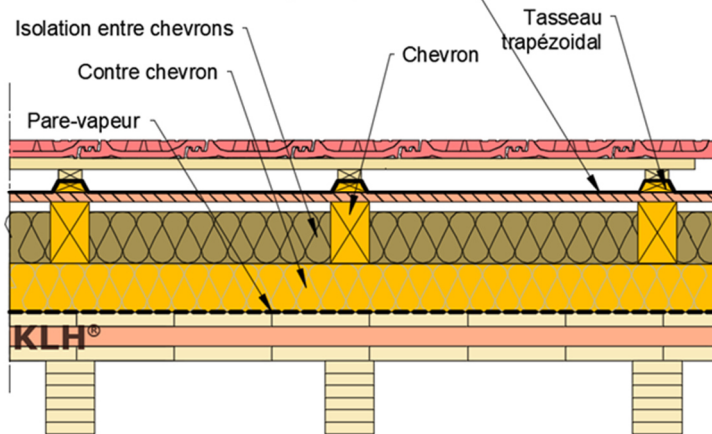


Figure B.12a - Toiture avec chevrons

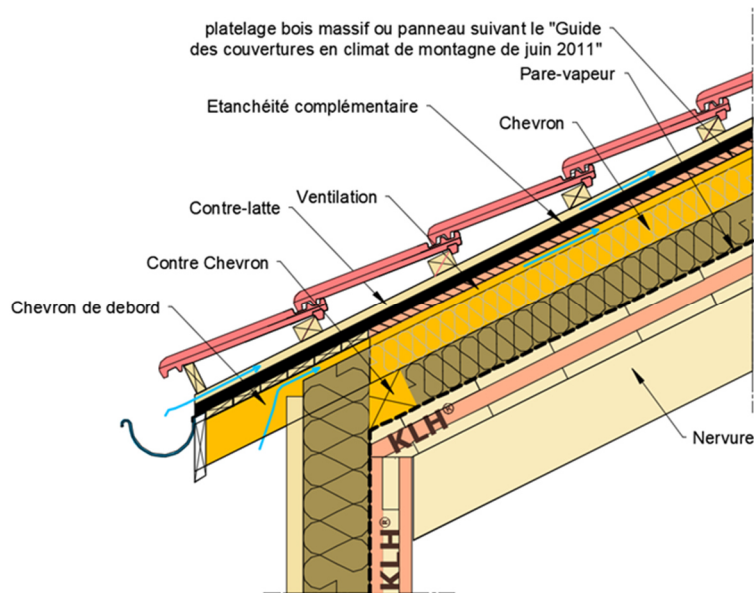


Figure B.12b - A l'égout (Nervures posées parallèlement à la pente)

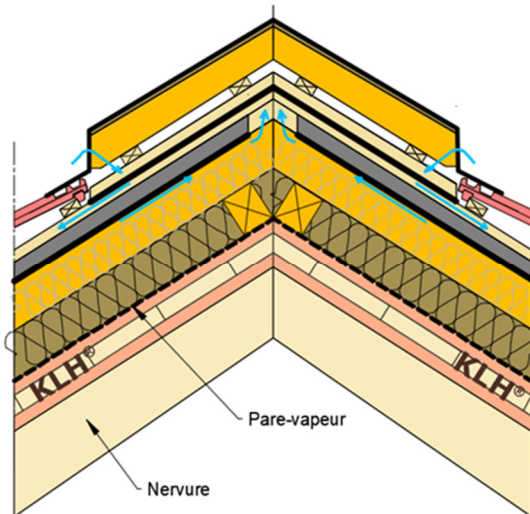


Figure B.12c - Détail de faîtage (Nervures posées parallèlement à la pente)

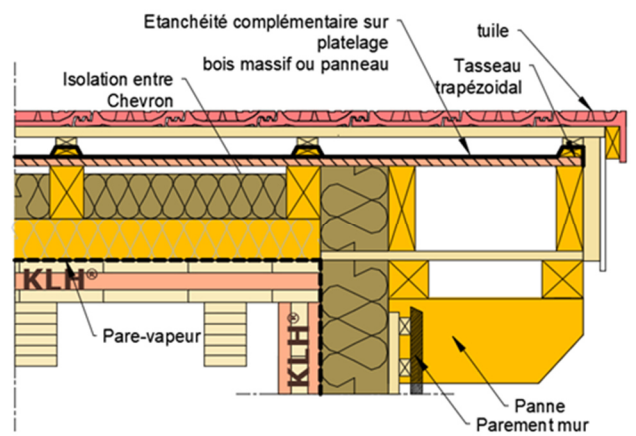
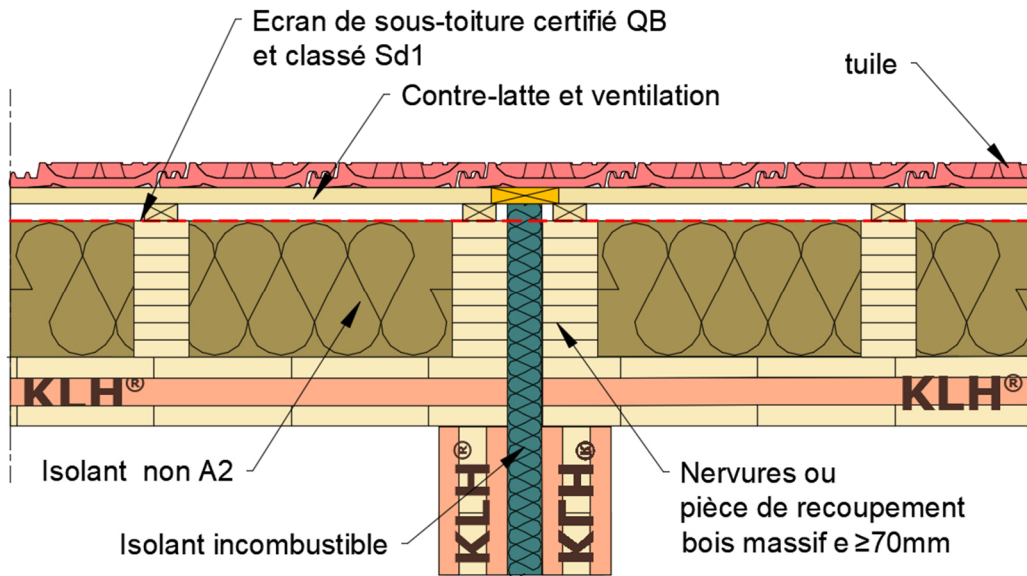


Figure B.12d - Détail de rive

Figure B.12 - Toitures Climat de montagne



Nota : il ne s'agit pas d'un joint de dilatation

Figure B.13a - Détail de recouplement (double murs)

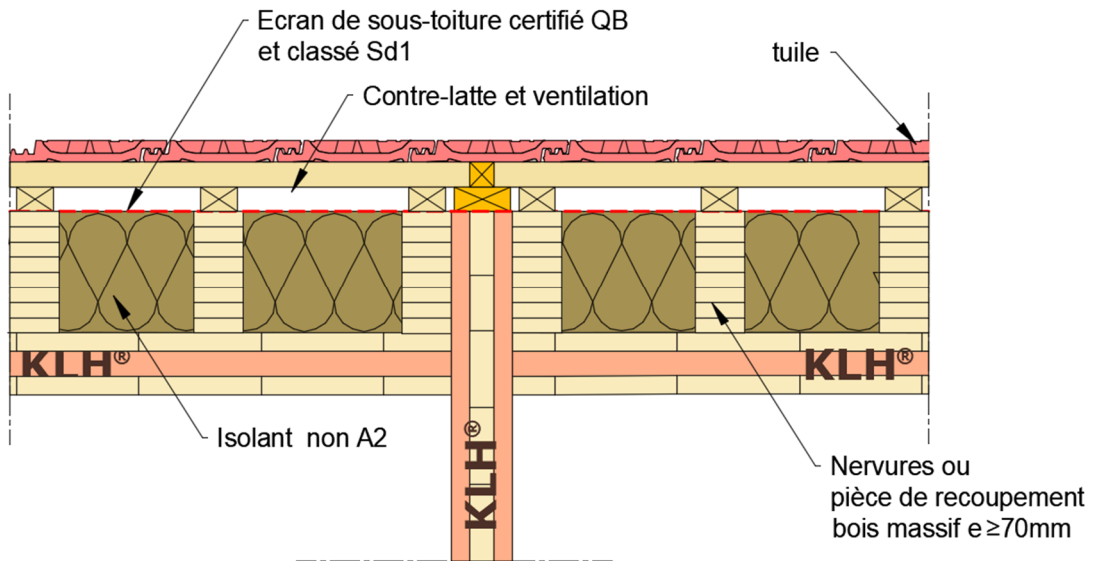


Figure B.13b - Détail de recouplement (simple murs)

Figure B.13 - Détail de recouplement