

Sur le procédé

PFEIFER CLT

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

Titulaire(s) : **Société PFEIFER TIMBER**

AVANT-PROPOS

Les avis techniques et les documents techniques d'application, désignés ci-après indifféremment par Avis Techniques, sont destinés à mettre à disposition des acteurs de la construction **des éléments d'appréciation sur l'aptitude à l'emploi des produits ou procédés** dont la constitution ou l'emploi ne relève pas des savoir-faire et pratiques traditionnels.

Le présent document qui en résulte doit être pris comme tel et n'est donc **pas un document de conformité ou à la réglementation ou à un référentiel d'une « marque de qualité »**. Sa validité est décidée indépendamment de celle des pièces justificatives du dossier technique (en particulier les éventuelles attestations réglementaires).

L'Avis Technique est une démarche volontaire du demandeur, qui ne change en rien la répartition des responsabilités des acteurs de la construction. Indépendamment de l'existence ou non de cet Avis Technique, pour chaque ouvrage, les acteurs doivent fournir ou demander, en fonction de leurs rôles, les justificatifs requis.

L'Avis Technique s'adressant à des acteurs réputés connaître les règles de l'art, il n'a pas vocation à contenir d'autres informations que celles relevant du caractère non traditionnel de la technique. Ainsi, pour les aspects du procédé conformes à des règles de l'art reconnues de mise en œuvre ou de dimensionnement, un renvoi à ces règles suffit.

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

Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
V3	<p>Annule et remplace l'Avis Technique 3.3/21-1043_V2. Cette version intègre les modifications suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> Mise à jour selon la nouvelle trame AT en vigueur au 1er janvier 2021 ; Mise à jour des références chantiers ; Mise à jour de l'ETE ETA-20/0023 Mise à jour de l'APL au feu n°AL20-293_v2 ; Uniformisation des humidités moyennes admissibles lors de l'encapsulage des panneaux ; Ajout de la référence à la récente publication de la FDES. Ajout l'ajout de la classe de service et de la classe d'émission de substance formaldéhyde de la colle 	PAYET Loïc	BERNARDIN-EZRRAN Roseline
V2		PAYET Loïc	BERNARDIN-EZRRAN Roseline

Descripteur :

Les panneaux structuraux PFEIFER CLT sont des panneaux multi-plis de grandes dimensions, constitués de planches en bois massif de classe C24, avec la possibilité d'incorporer dans les plis intérieurs jusqu'à 10% de bois classe C16, empilées en couches croisées à 90° et collées entre elles sur toute leur surface. Les panneaux structuraux PFEIFER CLT comportent de 3 à 7 plis et sont destinés à la réalisation de planchers, de murs porteurs à fonction de contreventement, de supports d'étanchéité, ou d'éléments porteurs de complexes d'étanchéité. Les planches d'un même pli sont disposées chant contre chant, sans collage structural entre les tranches des lamelles de bois.

Les panneaux PFEIFER CLT ont les dimensions suivantes :

- Longueurs 8,00 à 14,50 m ;
- Largeurs compris entre 2,45 et 3,10 m ;
- Epaisseurs de 60 à 280 mm.

Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé.....	5
1.1.	Domaine d'emploi accepté	5
1.1.1.	Zone géographique	5
1.1.2.	Ouvrages visés.....	5
1.2.	Appréciation.....	6
1.2.1.	Aptitude à l'emploi du procédé	6
1.2.2.	Durabilité	8
1.2.3.	Impacts environnementaux	8
1.3.	Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé	8
1.3.1.	Dimensionnement des planchers	10
1.3.2.	Dimensionnement des murs.....	13
2.	Dossier Technique.....	15
2.1.	Mode de commercialisation	15
2.1.1.	Coordonnées.....	15
2.1.2.	Mise sur le marché.....	15
2.1.3.	Identification et marquage	15
2.2.	Description.....	15
2.2.1.	Principe.....	15
2.2.2.	Caractéristiques des composants.....	16
2.3.	Dispositions de conception	17
2.3.1.	Conditions de conception.....	17
2.3.2.	Dimensionnement des éléments porteurs horizontaux	17
2.3.3.	Dimensionnement des éléments porteurs verticaux.....	20
2.3.4.	Vérification des linteaux.....	21
2.3.5.	Dispositions relatives au dimensionnement en zone sismique	21
2.3.6.	Jonctions entre panneaux.....	22
2.4.	Dispositions de mise en œuvre	23
2.4.1.	Dispositions relatives à la mise en place d'un pare-vapeur	23
2.4.2.	Dispositions relatives au montage.....	23
2.4.3.	Dispositions relatives aux parements extérieurs	23
2.4.4.	Dispositions relatives aux revêtements de sol désolidarisés	24
2.5.	Assistance technique.....	24
2.6.	Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication.....	24
2.6.1.	Fabrication	24
2.6.2.	Contrôle de la fabrication	24
2.7.	Mention des justificatifs.....	25
2.7.1.	Données environnementales	25
2.7.2.	Résultats expérimentaux	25
2.7.3.	Références chantiers	26
2.8.	Annexe du Dossier Technique	27
2.8.1.	Méthodologie de dimensionnement des panneaux PFEIFER CLT aux éléments finis	34
3.	Annexe utilisation en support d'étanchéité.....	53
3.1.	Généralités	53
3.2.	Destination d'emploi.....	53
3.3.	Dimensionnement du complexe d'étanchéité	54
3.3.1.	Dimensionnement spécifique du panneau PFEIFER CLT dans le cas des toitures terrasses végétalisées.....	54
3.4.	Organisation de la mise en œuvre	54

3.4.1.	Protection contre les intempéries.....	54
3.4.2.	Organisation de mise en œuvre.....	54
3.5.	Dispositions constructives relatives au support.....	55
3.5.1.	Perçages et réservations.....	55
3.5.2.	Configurations de pose des panneaux.....	55
3.5.3.	Assemblage des panneaux PFEIFER CLT entre eux.....	55
3.6.	Conditions de mise en œuvre.....	55
3.6.1.	Vérification en phase définitive des éléments utilisés en support d'étanchéité.....	55
3.6.2.	Résistance au vent des toitures.....	55
3.6.3.	Attelages de fixation mécanique du complexe d'étanchéité.....	56
3.6.4.	Implantation des zones techniques.....	56
3.6.5.	Evacuation des eaux pluviales.....	56
3.7.	Prescriptions concernant les toitures inaccessibles, techniques et végétalisées.....	56
3.7.1.	Conditions nécessaires à l'exécution des travaux d'étanchéité.....	56
3.7.2.	Toitures chaudes.....	56
3.7.3.	Toiture froide non isolée en bâtiment ouvert ventilé par l'air extérieur (pente $\geq 3\%$).....	58
3.8.	Dispositions particulières aux terrasses accessibles aux piétons et au séjour.....	58
3.8.1.	Couche de protection de l'élément porteur.....	58
3.8.2.	Support isolant thermique porteur.....	58
3.8.3.	Revêtement d'étanchéité.....	59
3.8.4.	Traitement des relevés.....	59
3.8.5.	Dispositions d'évacuation des eaux pluviales.....	59
3.8.6.	Protections par dalles sur plots.....	59
3.8.7.	Protection par platelage bois.....	59
3.9.	Montage par le charpentier.....	59
3.9.1.	Généralités.....	59
3.9.2.	Levage.....	59
3.9.3.	Stabilisation de l'ouvrage en phase de montage.....	60
3.9.4.	Protection de l'ouvrage vis-à-vis des intempéries.....	60
3.10.	Entretien et réparation des toitures.....	60
3.10.1.	Entretien et réparation des panneaux PFEIFER CLT.....	60
3.10.2.	Entretien et réparation des toitures.....	60
3.11.	Assistance technique.....	60
3.12.	Tableaux et figures.....	60

1. Avis du Groupe Spécialisé

Le procédé décrit au chapitre 2 « Dossier Technique » ci-après a été examiné par le Groupe Spécialisé qui a conclu favorablement à son aptitude à l'emploi dans les conditions définies ci-après :

1.1. Domaine d'emploi accepté

1.1.1. Zone géographique

Zones sismiques

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

Climat de montagne

Les utilisations en supports d'étanchéité en climat de montagne ne sont pas visées. Les panneaux structuraux PFEIFER CLT peuvent être utilisés pour des toitures en climat de plaine (altitude ≤ 900 m).

Emploi dans les régions ultrapériphériques

Ce procédé n'est pas revendiqué pour une utilisation dans les Départements et Régions d'Outre-Mer (DROM).

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

1.1.2. Ouvrages visés

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 1ère à la 3ème famille, de bureaux ou Etablissements Recevant du Public, en réhabilitation ou en construction neuve, dans les conditions énoncées aux paragraphes ci-après.

Le domaine d'emploi est limité à la réalisation de bâtiments R+7 ou 8 niveaux de surélévation, sans pour autant dépasser 28 m.

Les immeubles de moyenne hauteur (IMH) ne sont pas visés par le présent Avis Technique.

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.

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

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

L'utilisation des planchers béton sur paroi CLT est exclue du domaine d'emploi.

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

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

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

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

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, C4, 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.

Les panneaux d'épaisseur inférieure à 60 mm ne peuvent pas être utilisés pour reprendre des efforts de compression.

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

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

Les utilisations des panneaux PFEIFER CLT en support de couverture ne sont pas visées dans le cadre du présent Avis.

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

L'utilisation des panneaux PFEIFER CLT en plancher sur vide sanitaire est à exclure des zones infestées par les termites en l'absence de procédé de barrière anti-termite sous Avis Technique visant les planchers bois en vide-sanitaire.

Domaine d'emploi accepté dans le cas de l'utilisation en support d'étanchéité de toitures-terrasses

Les panneaux PFEIFER CLT sont destinés à la réalisation des toitures 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.

Les panneaux structuraux PFEIFER CLT sont destinés aux toitures en travaux neufs ou rénovation, en climat de plaine (altitude ≤ 900 m) :

- Inaccessibles avec chemins de circulation éventuels, sans rétention temporaire d'eaux pluviales ;
- Inaccessibles avec procédés d'étanchéité photovoltaïque avec modules souples bénéficiant d'un Avis Technique (pente ≤ 50 %) ;
- Inaccessibles avec procédés de végétalisation bénéficiant d'un Avis Technique (pente ≤ 20 % et ≥ 3 %) ;
- Techniques ou à zones techniques, sans chemins de roulement des appareils d'entretien de façades (pente ≤ 7 % en systèmes apparents et ≤ 5 % sous protection lourde) ;
- Accessibles aux piétons et au séjour avec une protection par dalles sur plots (pente ≤ 5 %) ou par platelage bois uniquement visées sur les configurations de toitures chaudes isolées (hors isolation inversée) selon les prescriptions spécifiques du paragraphe 3.8 du DT.
- Pour des toitures chaudes ou froides (ventilée non isolée uniquement en bâtiment ouvert).

Les pentes des toitures inaccessibles, techniques et accessibles aux piétons sont dépendantes du critère de dimensionnement choisi :

- ≥ 3 %, lorsque les panneaux structuraux PFEIFER CLT sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges limitées au $1/250e$ de la portée ;
- $\geq 1,8$ %, lorsque les panneaux structuraux PFEIFER CLT sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges limitées au $1/400e$ de la portée (hors TTV) ;
- $\geq 1,6$ %, lorsque les panneaux structuraux PFEIFER CLT sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges limitées au $1/500e$ de la portée (hors TTV) ;
- ≥ 3 % et ≤ 20 % pour les terrasses et toitures végétalisées.

Les panneaux structuraux PFEIFER CLT peuvent recevoir :

- Des systèmes adhérents, semi-indépendants ou indépendants faisant l'objet d'un DTA ou Avis Technique validé en GS 5.2 pour l'emploi sur éléments porteurs bois CLT ;
- Une isolation thermique en panneau isolant support d'étanchéité :
 - Faisant l'objet d'un Document Technique d'Application particulier visant la pose sur éléments porteurs bois, sous revêtement d'étanchéité apparent et dans le cas de procédés d'isolation mixte,
 - Conformes aux Règles Professionnelles « Isolants supports d'étanchéité en indépendance sous protection lourde » de juillet 2024 et certifiés ACERMI pour les spécifications prévues par les règles, pour l'emploi sur éléments porteurs CLT, sous revêtement d'étanchéité sous protection lourde,
- Un procédé d'isolation inversée conforme aux Règles professionnelles « Isolation inversée de toiture-terrasse » de Juin 2021 et certifié ACERMI pour les spécifications prévues par les règles, apte pour l'emploi sur éléments porteurs bois CLT, uniquement en terrasse inaccessible ;
- Une protection lourde conforme au NF DTU 43.1 ou définie dans le DTA du revêtement d'étanchéité ou dans les Règles Professionnelles « Isolation inversée de toiture-terrasse » de Juin 2021 ou définie dans un AT pour les procédés de végétalisation, correspondant à la destination des toitures définies dans le présent paragraphe.

1.2. Appréciation

1.2.1. Aptitude à l'emploi du procédé

1.2.1.1. Stabilité

La résistance et la stabilité du procédé sont normalement assurées dans le domaine d'emploi accepté sous réserve des dispositions complémentaires données au Dossier Technique.

1.2.1.2. Sécurité en cas d'incendie

1.2.1.2.1. 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 PFEIFER CLT, qu'ils soient utilisés en tant que porteur vertical ou horizontal, sont à même de satisfaire des degrés de stabilité au feu dans les conditions précisées dans l'Avis de laboratoire de résistance au feu AL20-293_v2 du 23 octobre 2024.

1.2.1.2.2. Réaction au feu

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

1.2.1.2.3. Utilisation en toiture

1.2.1.2.3.1. Sécurité en cas d'incendie vis-à-vis du feu provenant 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.

1.2.1.2.3.2. Sécurité en cas d'incendie vis-à-vis du feu intérieur

Les panneaux PFEIFER CLT ont fait l'objet d'une appréciation de laboratoire n° AL20-293_v2 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). Lorsque le panneau est visible en sous-face, il fait office de plafond.

1.2.1.2.4. 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° AL20-293_v2 du 23 10 2024.

Dans le cas d'intégration de 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° AL20-293_v2 un Avis de chantier conformément à l'Arrêté du 22 mars 2004 modifié devra être réalisé.

1.2.1.3. Pose en zones sismiques

Le procédé PFEIFER CLT peut satisfaire aux exigences de sécurité en cas de séisme sous réserve du respect des conditions précisées aux prescriptions du Dossier Technique.

1.2.1.4. Prévention des accidents lors de la mise en œuvre

La sécurité du travail sur chantier peut être normalement assurée, en ce qui concerne le procédé proprement dit, moyennant les précautions habituelles à prendre pour la manutention d'éléments préfabriqués de grandes dimensions. Une attention particulière doit être portée à la manutention des panneaux PFEIFER CLT destinés à la réalisation de murs munis d'ouvertures et transportés tels quels. Dans le cas où la phase de manutention génère des efforts nettement supérieurs à ceux subis par le panneau mis en œuvre dans l'ouvrage, les points d'attaches conçus et prescrits par PFEIFER 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 PFEIFER CLT, en position verticale ou horizontale, doit être assurée au moyen d'un étaielement garantissant la stabilité particulière de chaque élément et la stabilité générale du bâtiment en cours de construction. D'une manière générale, et quelle que soit la fonction du panneau PFEIFER CLT dans l'ouvrage, la mise en œuvre des panneaux PFEIFER CLT impose les dispositions usuelles relatives à la sécurité des personnes contre les chutes de hauteur.

1.2.1.5. Isolation thermique

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

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

Les valeurs et dispositions décrites dans les figures du Dossier Technique établie par le Demandeur sont données à titre indicatif et n'ont pas été examinées par le GS n°3.3, une étude devra être réalisée au cas par cas. Sur les figures sont indiqués les isolants qui sont prescrits dans le DTU 31.2-P1-2 (CGM).

Au niveau des parois verticales, un pare-vapeur sera systématiquement mis en œuvre sur la face des PFEIFER CLT exposée au climat intérieur (entre le panneau PFEIFER CLT et l'ouvrage en plaque de plâtre). La valeur de Sd (épaisseur de lame d'air équivalente) du pare-vapeur sera au minimum de 18 m lorsque le revêtement extérieur est ventilé et de 90 m le cas contraire.

Utilisation en toiture

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 Environnementale RE 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 PFEIFER CLT sans isolation thermique complémentaire, ne peut être mis en œuvre que sur les bâtiments ouverts et auvents (ouvrages où la réglementation thermique n'est pas applicable).

1.2.1.6. Isolation acoustique

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

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

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

1.2.1.7. Étanchéité à l'eau et à l'air

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

1.2.1.8. Fabrication et contrôle

La fabrication des panneaux PFEIFER CLT est assurée exclusivement par la société PFEIFER dans l'usine de PFEIFER TIMBER GmbH à D-36110 Schlitz en Allemagne. Le suivi de la production est effectué dans le cadre des procédures internes d'autocontrôle et fait l'objet d'un contrôle externe au moins deux fois par an par l'organisme autrichien Holzforchung Austria de Vienne.

1.2.2. Durabilité

Compte tenu de la limitation à des usages exposant les panneaux PFEIFER CLT aux classes d'emploi 1 et 2, leur durabilité face aux éléments fongiques peut être normalement assurée soit du fait de la durabilité naturelle de l'essence utilisée, soit par l'application d'un traitement de préservation dans les conditions fixées au § 2.2.2.1.3 du Dossier Technique.

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 PFEIFER CLT répondent à la réglementation en vigueur sous réserve des dispositions complémentaires données au Dossier Technique (§ 2.4 ci -après).

Utilisation en support d'étanchéité

Systèmes d'étanchéité : se reporter à leurs Documents Techniques d'Application, et à l'Avis Technique des procédés de végétalisation de terrasses et toitures étanchées.

Concernant l'entretien du système 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.

1.2.3. Impacts environnementaux

Données environnementales

Les panneaux Pfeifer CLT font l'objet d'une fiche de déclaration environnementale et sanitaire (FDES). Les données issues de cette FDES ont notamment pour objet de servir au calcul des impacts environnementaux des ouvrages dans lesquels les procédés visés sont susceptibles d'être intégrés. Il est rappelé que la FDES n'entrent pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du procédé.

Les panneaux structuraux hors ferrures du procédé « PFEIFER CLT » dispose d'une FDES vérifiées par tierce partie.

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.

1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé 3.3 :

Le groupe attire l'attention sur le fait qu'aucun essai de caractérisation des performances acoustiques n'a été réalisé. En conséquence les performances acoustiques du procédé n'ont pas été visées et l'utilisation du procédé devra être décidée au cas par cas en fonction des exigences réglementaires d'isolation acoustique.

Le présent DTA est formulé sur la base de l'ETA-20/0023 daté du 04/08/2023, dont il est rappelé qu'il n'a pas de limite de validité.

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.

L'exclusion d'emploi du procédé sur vide-sanitaire dans les zones infestées par les termites est justifiée par l'absence de procédé de barrière anti-termite couvert par un Avis Technique valide visant les planchers bois sur vide-sanitaire à la date de formulation du présent Avis Technique.

Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé 5.2 :

L'implantation des dispositifs d'évacuation des eaux pluviales, et lorsque prescrit, la vérification nécessaire des panneaux PFEIFER CLT sous le phénomène d'accumulation d'eau doit être faite conformément à l'annexe D du Cahier du CSTB 3814.

Dans le cas de terrasses accessibles aux piétons, la conception de l'ouvrage devra prévoir des descentes d'eau pluviales visibles par les occupants des locaux.

La diminution du critère de fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges du 1/250e de la portée pour une pente de 3 % minimale, au 1/400e 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 1/500e de la portée pour une pente de 1,6 % minimale,

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.

A l'instar de tous les procédés de la famille panneaux bois à usage structurel, le dossier ne vise pas les seuils de portes-fenêtres donnant sur toitures-terrasses accessibles aux piétons et séjour.

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.

Annexes de l'Avis du Groupe Spécialisé

1.3.1. Dimensionnement des planchers

1.3.1.1. Données

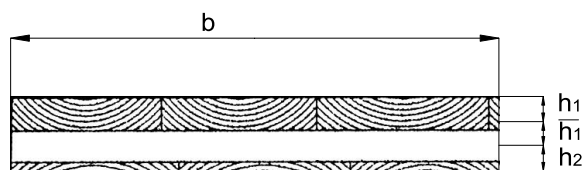


Figure 1 – Coupe transversale d'un panneau 3 plis

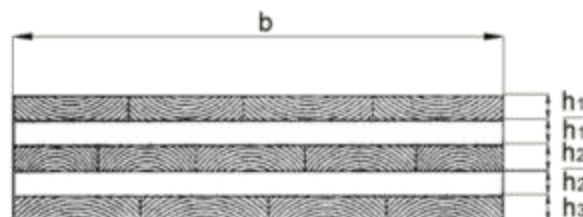


Figure 2 – Coupe transversale d'un panneau 5 plis

Portée L

Résistance caractéristique à la flexion $f_{m,k}$

Résistance caractéristique à la traction $f_{t,0,k}$

Résistance caractéristique au cisaillement roulant $f_{R,k}$

Module d'élasticité moyen du bois $E_{0,mean}$

Module de cisaillement moyen du bois $G_{,mean}$

Module de cisaillement roulant moyen du bois $G_{R,mean}$

Coefficient de sécurité Bois γ_m

Coefficient de modification k_{mod}

Coefficient de déformation k_{def}

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

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

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

M_u : moment de flexion de calcul maximum à l'ELU

V_u : effort tranchant maximum de dimensionnement

1.3.1.2. Conception

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

Lorsque les panneaux PFEIFER CLT utilisés comme planchers porteurs, sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant trémie doivent faire l'objet d'une vérification spécifique (cf. § 2.3.2.9 du dossier technique).

Le dimensionnement est réalisé en appliquant les coefficients k_{mod} en fonction de la classe de service et de la durée d'application des charges. Les flèches sont calculées en tenant compte du fluage par le coefficient k_{def} pris selon les valeurs définies pour le contreplaqué dans la norme NF EN 1995-1-1 et au § 2.3.2.7 du Dossier Technique.

1.3.1.3. Vérifications à l'ELU instantané

Instantané – charges à court terme

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

$$EI_{ef} = E_{f,lat,mean} \cdot I_{ef}$$

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

En utilisant les valeurs moyennes de E et où :

$$A_i = b \cdot h_i$$

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

$$\gamma_2 = 1$$

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

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

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

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

Les contraintes normales sont prises selon :

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

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

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

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

Vérification du cisaillement roulant :

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

Avec le moment statique d'un pli au sein d'une section rectangulaire : $S_i = b \cdot h_i \cdot x_i$

- b : largeur du panneau (mm) ;
- hi : épaisseur du pli (mm) ;
- xi : abscisse du barycentre du pli à l'axe de symétrie du panneau (mm).

Avec la valeur caractéristique de résistance au cisaillement roulant de 1,3 N/mm² comme définie dans l'ETA -20/0023.

Une attention particulière doit être portée à la conception des planchers

et notamment à l'emplacement respectif des joints entre panneaux et des surcharges pour ne pas mobiliser de manière importante les cisaillements entre panneaux adjacents. Les détails de jonctions entre panneaux sont indiqués dans les dispositions constructives annexés au Dossier Technique.

La compression transversale et le cisaillement sur appui doivent faire l'objet d'une vérification selon les principes énoncés dans le §2.3.2.4. et §2.3.2.5 du Dossier Technique.

1.3.1.4. Vérifications à l'ELU final

Les caractéristiques élastiques prises en compte sont réduites pour pouvoir considérer le fluage. La réduction est obtenue par la prise en compte des coefficients de fluage. Pour une combinaison d'actions pour laquelle chaque action appartient à une classe de durée de chargement différente, la contribution de chaque action doit être calculée séparément en utilisant le coefficient $\psi_2 \cdot k_{def}$ approprié, puis additionnées pour les vérifications.

$$E_{0,mean,fin} = \frac{E_{0,mean}}{1 + \varphi_2 \cdot k_{def}}$$

$$G_{R,mean,fin} = \frac{G_{R,mean}}{1 + \varphi_2 \cdot k_{def}}$$

Avec $G_{R,mean}$ le module de cisaillement roulant moyen défini dans l'ATE 20/0023 et pris égale à 50 MPa
Avec $\varphi_2 = 1$ pour les charges permanentes.

1.3.1.5. Vérifications ELS

1.3.1.5.1. Caractéristiques mécaniques Instantané (charge à court terme - instantanées)

Il convient de considérer la rigidité efficace en flexion déterminée au §1.5.1.3.

1.3.1.5.2. Caractéristiques mécaniques Final (charge à long terme - permanentes)

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

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

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

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

Avec G_{mean} le module de cisaillement moyen des panneaux PFEIFER CLT est défini dans l'ETA-20/0023 et pris égal à 50 MPa.

1.3.1.5.3. Vérifications de flèche

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

1.3.1.5.4. Vérifications flèche totale – absolue

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

1.3.1.5.5. Vérifications flèche instantanée

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

1.3.1.5.6. Vérifications flèche active

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 à long terme des panneaux PFEIFER CLT.

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.

1.3.1.5.7. 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.

1.3.2. Dimensionnement des murs

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

La résistance des éléments porteurs verticaux soumis à des charges verticales dans leur plan doit être justifiée vis-à-vis du risque de flambement hors plan. Le calcul de l'élançement du panneau PFEIFER CLT est effectué en considérant d'une part la longueur de flambement calculée de manière usuelle en fonction des conditions d'appuis (considérées comme des articulations), d'autre part le rayon de giration dont le calcul est donné dans §2.3.3.4 du Dossier Technique. Le calcul de la contrainte majorée de compression est effectué suivant la norme NF EN 1995-1-1.

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

Lorsque les panneaux PFEIFER CLT utilisés comme murs porteurs sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant poteaux entre ouvertures doivent faire l'objet d'une vérification spécifique en tenant compte, si besoin, du risque de flambement dans les deux directions (cf. §2.3.3.3 et §2.3.3.4 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 à §2.3.4 du Dossier Technique pour la conception des porteurs verticaux avec linteaux et ouvertures.

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

Lorsque des panneaux PFEIFER CLT sont utilisés pour assurer le contreventement, il est possible :

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

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

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

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

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

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

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

a largeur d'une planche (mm) ;

I_p moment d'inertie polaire des sections croisées (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 des éléments fournis par le titulaire et des prescriptions du Groupe Spécialisé acceptées par le titulaire

2.1. Mode de commercialisation

2.1.1. Coordonnées

Le procédé est commercialisé par le titulaire.

Titulaire : Pfeifer Timber GmbH

Mühlenstraße 7

D-86556 Unterbernbach, Allemagne

Tél. : +49 6642 96 340

Email : clt@pfeifergroup.com

Internet : www.pfeifergroup.com

2.1.2. Mise sur le marché

En application du Règlement (UE) n° 305/2011, les panneaux structuraux PFEIFER CLT font l'objet d'une déclaration des performances (DdP) établie par le fabricant sur la base de l'Evaluation Technique Européen ETA-20/0023.

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

2.1.3. Identification et marquage

Les panneaux PFEIFER CLT font l'objet de l'Agrément Technique Européen ATE-20/0023 et bénéficient d'un marquage CE. Les panneaux sont étiquetés avec les informations suivantes :

- Le logo PFEIFER ;
- Le Numéro du certificat de conformité CE ;
- Le numéro de l'agrément technique européen ;
- Le marquage PEFC ;
- La désignation du client et du projet ;
- La description de l'élément : numérotation, dimensions, nombre de plis, qualité des faces extérieurs, poids (un QR-code permet d'accéder numériquement aux informations) ;
- Le code de production, permettant d'assurer la traçabilité de l'élément ;
- Un code-barres pour la logistique et le chargement des panneaux.

2.2. Description

2.2.1. Principe

Les panneaux structuraux PFEIFER CLT sont des panneaux multi-plis de grandes dimensions, constitués de planches en bois massif, empilées en couches croisées à 90° et collées entre elles sur toute leur surface. Les panneaux structuraux PFEIFER CLT sont destinés à la réalisation de planchers et de murs porteurs à fonction de contreventement.

Les planches d'un même pli sont disposées chant contre chant, sans collage structural entre les tranches des lamelles. La largeur maximale des joints entre planches est décrite dans le

Tableau 2 du dossier technique.

2.2.2. Caractéristiques des composants

2.2.2.1. Définition des matériaux

2.2.2.1.1. Planches en bois

2.2.2.1.1.1. Types d'essences utilisées

Les planches en bois massif utilisées pour la réalisation des panneaux PFEIFER CLT peuvent être en épicéa, sapin, pin, mélèze ou douglas, ou tout autre essence listée dans la NF EN 16351, § 5.1.5.

2.2.2.1.1.2. Caractéristiques géométriques des planches

L'épaisseur des planches est comprise entre 18 et 45 mm.

La largeur des planches est comprise entre 72 et 300 mm.

Pour obtenir les longueurs souhaitées, les planches des plis longitudinaux et transversaux sont aboutées.

2.2.2.1.1.3. Caractéristiques mécaniques des planches

Les planches utilisées sont classées conformément à la norme NF EN 14081, et leur classe de résistance est déclarée selon la NF EN 338.

Planches composant les plis extérieurs des panneaux : C24 uniquement

Planches composant les plis intérieurs des panneaux : C24 pour au moins 90%, le reste étant de classe supérieure ou égale à C16.

2.2.2.1.2. Colles

Pour l'aboutage des planches ainsi que le collage des plis entre eux, la colle utilisée est une résine polyuréthane monocomposante, Jowatpur 681.10, fabriquée par la société Jowat Swiss AG (Suisse, Buchrain). Cette colle est de type I selon la NF EN 15425.

2.2.2.1.3. Concernant la classe d'émission de substance formaldéhyde selon la norme NF EN 717-1, il s'agit d'une colle produite sans addition de solvants ou de formaldéhyde. Le taux d'émission de formaldéhyde pour le produit collé avec la PUR a été déterminé par le laboratoire Holzforschung Austria de Vienne, comme étant de classe E1. Produits de préservation

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

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

Conformément à la réglementation en vigueur, les panneaux CLT qui participent à la solidité des bâtiments devront être protégés par une durabilité conférée ou naturelle contre les insectes à larves xylophages sur l'ensemble du territoire et en complément, contre les termites dans les départements dans lesquels a été publié un arrêté préfectoral pris par l'application des articles L. 126-6 et L. 131-3.

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

2.2.2.2. Description des panneaux

2.2.2.2.1. Géométrie des panneaux

Les panneaux PFEIFER CLT sont fabriqués selon les dimensions suivantes :

- Largeur de 2,45 m à 3,10 m
- Longueur de 8,00 à 14,50 m

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

Les plis extérieurs des 2 faces opposées des panneaux sont orientées dans la même direction. Le nombre de plis est généralement impair (sauf pour certaines compositions où des plis intérieurs sont doublés, qui aboutissent sur un nombre de plis pairs).

L'épaisseur des panneaux PFEIFER CLT dépend du nombre de plis et des combinaisons possibles entre les différentes épaisseurs de planches. L'épaisseur des panneaux peut varier de 60 mm à 280 mm.

Nombre de plis : $3 \leq n \leq 7$

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

- 1 lorsque $n=3$

- ≤ 2 lorsque $n=5$
- ≤ 3 lorsque $n>5$ (sans que la somme des épaisseurs des plis orientés dans la même direction ne dépasse 90mm)

Se référer au Tableau 1 pour les compositions standards des panneaux PFEIFER CLT. La liste présentée est non limitative, et tout autre composition peut être produite, dès lors que les critères énoncés ci-dessus sont respectés.

On distingue les panneaux dont les plis extérieurs sont orientés dans le sens de la longueur, appelés « DL », des panneaux dont les plis extérieurs sont orientés dans le sens de la largeur, appelés « DQ ». Tous les panneaux PFEIFER CLT peuvent indifféremment être produits suivant les 2 directions.

Les plis extérieurs des panneaux PFEIFER CLT peuvent être fabriqués avec trois niveaux de finition : non visible, visible industrielle, visible « habitat ».

Les planches d'un même pli sont disposées chant contre chant, sans collage structural entre les tranches des lamelles. La largeur maximale des joints entre planches est décrite dans le tableau 2 du dossier technique.

2.2.2.2.2. Caractéristiques physiques des panneaux

- Masse volumique : La masse volumique à prendre en compte pour les panneaux PFEIFER CLT est $\rho_k = 350 \text{ kg/m}^3$ et $\rho_{\text{mean}} = 420 \text{ kg/m}^3$ (selon la norme EN 338). Pour le transport et le levage il est conseillé de prendre une masse volumique de 500 kg/m^3 .
- Variations dimensionnelles des panneaux PFEIFER CLT :
 - Dans son plan : 0,01 % pour 1% de variation d'humidité du bois
 - Perpendiculairement à son plan : 0,24 % pour 1% de variation d'humidité du bois
- Coefficient de conductivité thermique : $\lambda = 0,12 \text{ W/(m.K)}$
- Capacité calorifique massique : $C_p = 1600 \text{ J/(kg.K)}$
- Résistance à la diffusion de vapeur d'eau : $\mu_{\text{humide}} = 20$ et $\mu_{\text{sec}} = 50$

2.3. Dispositions de conception

2.3.1. Conditions de conception

La conception et le calcul des panneaux PFEIFER CLT sont à la charge du bureau d'études techniques référencé par le service d'assistance technique PFEIFER CLT qui fournit également un plan de pose complet.

PFEIFER prête l'assistance technique nécessaire dans ce cadre en mettant notamment à disposition des acteurs de la construction une liste de bureaux d'études techniques disposant de l'expertise requise pour le dimensionnement des panneaux PFEIFER CLT en respect des prescriptions techniques particulières du présent Avis et des normes en vigueur.

La société PFEIFER met à la disposition des utilisateurs du procédé, une documentation technique dans laquelle figurent des abaques et des tableaux de pré dimensionnement ainsi qu'un logiciel de calcul de statique pour les structures en panneaux PFEIFER CLT.

Ces données sont utiles par exemple en phase d'avant-projet, mais 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 propres à chaque projet.

La conception, le calcul et la réalisation peuvent s'effectuer conformément à la norme NF EN 1995-1-1 et en tenant compte des dispositions énoncées ci-après. Les caractéristiques mécaniques des panneaux PFEIFER CLT, pour les calculs menés aux EUROCODES, sont données en valeurs caractéristiques dans les Tableau 3 et Tableau 4.

Le coefficient partiel de sécurité pour les propriétés de rigidité et de résistance est défini avec $\gamma_M = 1,25$. Le facteur modificatif k_{mod} à appliquer est celui du bois massif.

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

Lorsque des panneaux PFEIFER CLT sont utilisés pour assurer le contreventement, il est possible :

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

2.3.2. Dimensionnement des éléments porteurs horizontaux

2.3.2.1. Vérification de la résistance sous l'effet du moment fléchissant

En considérant le panneau comme un matériau plein et homogène, la contrainte induite par le moment fléchissant, est donnée par la formule suivante (l'influence de la déformation de cisaillement est considérée comme négligeable) :

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

$$\sigma_{m,d} = \frac{0,5 \cdot h \cdot M_d}{I_{ef,x \text{ ou } y}} \leq f_{m,d}$$

La valeur $f_{m,k}$ indiquée ci-dessus est donnée dans les Tableau 3 et Tableau 4.

h : la demi-épaisseur du panneau

$I_{ef,x \text{ ou } y}$: le moment d'inertie effectif en flexion de la section pleine dans la direction considérée

2.3.2.2. Vérification de la résistance sous l'effet de l'effort tranchant

En considérant le panneau comme un matériau plein et homogène, la contrainte induite par l'effort tranchant est donnée par la formule suivante :

$$f_{v,R,d} = \frac{f_{v,R,k} \cdot k_{mod}}{\gamma_M}$$

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

La valeur $f_{v,R,k}$ indiquée ci-dessus est donnée dans les Tableau 3 et Tableau 4.

I_{net} : l'inertie nette

S_{net} : le moment statique avec $S_{net} = B \cdot h_i \cdot x_i$

B : la largeur du panneau

h_i : l'épaisseur du pli i

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

2.3.2.3. Vérification de la résistance au cisaillement au niveau des entailles aux appuis

Pour les appuis entailés, on vérifiera le cisaillement roulant en utilisant la hauteur efficace réduite $h_{eff,i,red}$ réellement cisailée et en minorant la résistance de calcul $f_{v,d}$ par le facteur de réduction k_v . Le calcul du coefficient k_v est effectué conformément à l'EN1995-1-1 point 6.5.2 en fixant la valeur $k_n = 5$

Figure 3 : Définition de la hauteur efficace pour un appui entailé



A symbolisant la réaction d'appui.

Le renforcement des zones tendues des appuis entailés est réalisé avec des vis à filetage total dimensionnées pour reprendre la totalité de l'effort de traction transversale.

L'équation suivante est à vérifier :

$$\frac{F_{t90,d}}{F_{ax,R,d}} = \frac{1,3 \times V_d \times (3 \times (1-a)^2 - 2 \times (1-a)^3)}{F_{ax,R,d}} \leq 1$$

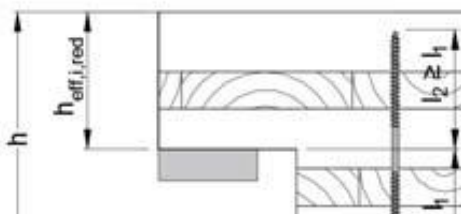
Avec :

$$a = \frac{h_{eff,i,red}}{h}$$

h : la hauteur du panneau CLT

$F_{ax,R,d}$: la résistance à l'arrachement de la partie filetée de la vis déterminée selon les données de l'ETE du fabricant ou par défaut selon la norme NF EN 1995-1-1.

La longueur des vis est adaptée à la configuration de l'entaille en respectant $l_2 \geq l_1$.



La vérification de la traction transversale se justifie sur une seule rangée de vis. Les pinces à retenir sont celles décrites dans l'ETE du fabricant de vis ou par défaut celles selon la norme NF EN 1995-1-1.

2.3.2.4. Vérification de la compression transversale

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.3.3 « Vérification aux ELU de la compression transversale » s'appliquent.

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

La compression transversale et le cisaillement sur appui doivent faire l'objet d'une vérification selon EN 1995-1-1 §6.1.5.

2.3.2.6. Vérification du cisaillement roulant sous charge concentrée

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.3.3 « Vérification du cisaillement roulant sous charge concentrée » s'appliquent.

2.3.2.7. Vérification des déformations

Les flèches sont calculées en utilisant l'inertie effective des panneaux PFEIFER CLT. Le glissement lié à l'influence de l'effort tranchant est à prendre en compte. La déformation due au fluage est prise en compte en multipliant la flèche totale (flèche due au moment fléchissant + flèche due à l'effort tranchant) par les valeurs de coefficients k_{def} définies dans la NF EN 1995-1-1 pour le contreplaqué.

Pour un panneau PFEIFER CLT sur 2 appuis, sous une charge uniformément répartie, l'expression de la flèche totale maximale devient :

$$w_{tot} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I_{net}} + \frac{q \cdot l^2}{8 \cdot G \cdot S}$$

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.

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.

2.3.2.7.1. Calcul de la flèche instantanée

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.3.5 « Vérifications aux ELS – Flèches » s'appliquent.

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 PFEIFER CLT.

2.3.2.7.2. Calcul de la flèche nette finale

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.3.5 « Vérifications aux ELS – Flèches » s'appliquent.

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 PFEIFER CLT.

2.3.2.7.3. Calcul de la flèche active

Les dispositions du §1.4.1.5.6 s'appliquent.

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 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 cm + L/1000 pour $L > 5,00$ m.

Pour les éléments de toiture, la flèche finale due à toutes les charges est limitée conventionnellement à :

- 1/250 de la portée pour une pente de 3 % minimale ;
- 1/400 de la portée pour une pente de 1,8 % minimale (hors TTV) ;
- 1/500 de la portée pour une pente de 1,6 % minimale (hors TTV).

Les critères de flèche active doivent être vérifiés en considérant les caractéristiques mécaniques à long terme des panneaux PFEIFER CLT.

2.3.2.8. Comportement vibratoire

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.3.6 « Vérifications aux ELS – Critère vibratoire » s'appliquent.

2.3.2.9. Vérification des planchers avec ouvertures

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.3.7 « Conception et dimensionnement des trémies » s'appliquent.

2.3.2.9.1. Réservations de faibles dimensions

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

2.3.2.9.2. Réservations situées en bordure de panneau de plancher – Principe de décomposition

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.3.7.3 s'appliquent.

2.3.2.9.3. Réservations intégralement comprises dans un même panneau de plancher – Principe de report de charge

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §3.3.7.4 s'appliquent.

2.3.2.10. Vérification du fonctionnement en diaphragme

Le fonctionnement en diaphragme des planchers ou éléments de toiture, assure la transmission et la répartition des efforts horizontaux (vent ou efforts sismiques), entre les éléments de contreventement, et afin de transmettre ces efforts sur les éléments porteurs verticaux en têtes des murs.

Les panneaux PFEIFER CLT sont conçus pour fonctionner comme des diaphragmes, les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §5.2.1. « Dimensionnement des éléments porteurs horizontaux sous charges horizontales » s'appliquent.

Ce fonctionnement est assuré en vérifiant les trois points suivants :

- Aptitude des panneaux à reprendre les efforts de traction/compression dans l'axe de l'effort en ne prenant en compte que les plis travaillants ; les plis dont le sens des fibres est parallèle au sens de l'effort ;
- Aptitude des organes d'assemblage à transmettre les efforts horizontaux aux éléments de contreventement verticaux.
- Aptitude des organes d'assemblage à transmettre les efforts aux panneaux adjacents. En fonction des efforts à transmettre, les panneaux peuvent être assemblés soit par mi-bois, par languettes rapportées ou à chant (voir Figure 10). Le choix de la jonction et de sa dimension dépend de la conception du bâtiment et des efforts à transmettre.

2.3.3. Dimensionnement des éléments porteurs verticaux

2.3.3.1. Reprise des charges perpendiculaires à la surface du panneau

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

2.3.3.2. Reprise 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 la contrainte majorée de compression est effectué suivant la norme NF EN 1995-1-1.

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

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

On calcule alors la contrainte de compression (ou de traction) en utilisant la section nette A_{net} et en utilisant l'inertie effective des panneaux I_{eff} dont les valeurs sont données dans les Tableau 6 et

Tableau 7.

Lorsque les panneaux PFEIFER CLT utilisés comme murs porteurs sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant poteaux entre ouvertures doivent faire l'objet d'une vérification spécifique, en tenant compte si besoin, du risque de flambement dans les deux directions. De la même façon, les panneaux formant des linteaux au-dessus des ouvertures doivent faire l'objet d'une vérification spécifique.

2.3.3.3. Reprise de charges verticales ponctuelles

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.3.5 « Vérification des contraintes sous charges verticales ponctuelles » s'appliquent.

2.3.3.4. Reprise de compression et flexion combinée

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.3.2 « Vérification des contraintes de compression et flexion combinée » s'appliquent.

2.3.3.5. Reprise de charges obliques

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.3.4 s'appliquent.

2.3.3.6. Reprises des charges horizontales

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.4 s'appliquent.

Les vérifications de la résistance sous l'effet des contraintes de cisaillement peuvent être menées en considérant les combinaisons d'action des Eurocodes et en appliquant les coefficients k_{mod} fonction de la classe de service et de la durée d'application des charges. Les flèches sont alors calculées comme dit au §2.3.2.7 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 PFEIFER CLT munis d'ouvertures sont utilisés pour assurer le contreventement, il est possible de justifier leur tenue et celle de leurs ancrages en les considérant comme une succession de consoles isolées les unes des autres, libres en tête et encastées en pied. Ceci n'est applicable que si les panneaux sont fixés mécaniquement en pied et d'une largeur supérieure à 0,60 m.

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

2.3.4. Vérification des linteaux

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §4.3.6 s'appliquent.

2.3.5. Dispositions relatives au dimensionnement en zone sismique

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §5.3 s'appliquent.

La justification en zone sismique des structures assemblées par panneaux PFEIFER CLT 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 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 du §4.3.3.1 de la norme NF EN 1998-1-1.

Les critères de régularité en plan et en élévation de la norme NF EN 1998-1-1 (cf. §4.2.3) 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.

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.

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 ;
- Pour le comportement dissipatif (DCM) on peut appliquer $\gamma_M = 1,0$.

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

- L'intégrité de la structure lors d'un séisme ;
- La fonction tirant-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 ;
- La fonction diaphragme horizontal avec justification des jonctions entre panneaux adjacents pour les efforts de cisaillement induits.

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

- Menant les vérifications précisées ci-dessus au §2.3.5 du Dossier Technique ;

- Réalisant la fixation des panneaux au soubassement béton :
 - Soit par des tiges d'ancrage et/ou bêches, 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 de performance 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.

2.3.6. Jonctions entre panneaux

2.3.6.1. Dispositions relatives aux assemblages

Les organes de fixation utilisés pour l'assemblage des panneaux PFEIFER CLT entre eux ou avec d'autres éléments de structure doivent être choisis selon les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.3 « Dispositions spécifiques aux autres composants ».

Les organes d'assemblage fréquemment utilisés sont les clous, les vis à bois, les boulons, les broches et les chevilles en conformité avec la norme NF EN 1995-1-1 ou une l'Évaluation Technique Européenne ou les prescriptions de la norme NF EN 14592. Les liaisons entre panneaux doivent être réalisées avec des éléments permettant la reprise des efforts de traction transversale (LVL, OSB, contreplaqué), à l'exclusion du bois massif.

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

Il convient de différencier les chants des faces, qui présentent des comportements différents face aux assemblages. Les conditions de pince sont celles décrites dans la norme NF EN 1995 pour chaque type d'assemblage.

2.3.6.1.1. Assemblages dans un même plan

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.4.3 « Assemblage des panneaux entre eux dans un même plan » s'appliquent.

2.3.6.1.2. Assemblage en angle

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.4.3 « Assemblage des panneaux en angle » s'appliquent.

2.3.6.1.3. Assemblages par connecteurs tridimensionnels

Les connecteurs mécaniques tridimensionnels doivent faire l'objet d'une Évaluation Technique Européenne. Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.4.4.4 « Assemblages par connecteurs tridimensionnels » s'appliquent.

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

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

Les assemblages avec connecteurs mécaniques doivent être dimensionnés conformément aux dispositions de l'Eurocode 5, complétées des dispositions données au §2.3.5 du présent dossier technique. Il s'agit de s'attacher particulièrement à réaliser des assemblages dont le mode de rupture est ductile, à la fois pour les liaisons entre panneaux et pour les ancrages aux fondations, capable de reprendre les sollicitations sismiques.

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §5.3.3 « Exemples de dispositions constructives » s'appliquent.

2.3.6.3. Dispositions spécifiques relatives à la sécurité en cas d'incendie

On se conforme aux dispositions de l'Avis de résistance au feu suivant §1.2.1 de l'Avis technique attaché au présent dossier technique.

2.3.6.4. Dispositions spécifiques aux composants métalliques

2.3.6.4.1. Compatibilité des organes métalliques

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.3.1 « Compatibilité des organes métalliques » s'appliquent.

2.3.6.4.2. Organes de fixation de type tige

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.3.2 « Organes de fixation pour assemblages structuraux » s'appliquent.

2.3.6.4.3. Connecteurs métalliques tridimensionnels

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.3.3 « Connecteurs métalliques tridimensionnels » s'appliquent.

2.3.6.5. Liaison avec le gros œuvre

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.4.2.4 « Appui sur support béton » s'appliquent.

2.4. Dispositions de mise en œuvre

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

2.4.1. Dispositions relatives à la mise en place d'un pare-vapeur

Au niveau des parois verticales donnant sur l'extérieur ou sur un local non chauffé, un pare-vapeur sera systématiquement mis en œuvre sur la face des PFEIFER CLT exposée au climat intérieur (entre le panneau PFEIFER CLT et l'ouvrage en plaque de plâtre). La valeur de S_d (épaisseur de lame d'air équivalente) du pare-vapeur sera au minimum de 18 m lorsque le revêtement extérieur est ventilé et de 90 m le cas contraire.

2.4.2. Dispositions relatives au montage

2.4.2.1. Grue et levage des panneaux

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §6.3.1, 6.3.2, 6.3.3 et 6.3.4 s'appliquent.

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

2.4.2.2. Stockage sur chantier

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §6.2 « Stockage sur chantier » s'appliquent.

2.4.2.3. Déroulement du montage

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §6.3 « Phase de mise en œuvre » s'appliquent.

2.4.2.4. Dispositions relatives aux réservations

En aucun cas, les réservations et/ou percements sont réalisés exclusivement par le lot charpente sous réserve de la validation par le BE structure. En aucun cas, les réservations et/ou percements ne sont réalisés par le lot Étanchéité ou par tout autre lot. 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).

Sur demande, des réservations peuvent être aménagées par fraisage ou découpe dans les panneaux PFEIFER CLT. Leur mise en place est à coordonner avec le BET en charge de la note de calcul de l'ouvrage. Pour les cas courants, aucune justification n'est à prévoir, dès lors que les dispositions énoncées ci-dessous sont remplies.

2.4.2.4.1. Réservations dans les panneaux de mur

Lorsque les plis extérieurs des panneaux de mur sont verticaux, des rainures 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 extérieurs des panneaux de mur sont horizontaux, des rainures peuvent être réalisées sans restriction de direction, mais uniquement dans le cas où ces plis ne sont pas travaillants.

Pour les autres réservations, une vérification suivant le §2.3.3 devra être menée.

2.4.2.4.2. Réservations dans les panneaux de plancher

Il est possible de réaliser des rainures pour le passage de gaines électriques, si elles sont orientées parallèlement au sens de portée principal des panneaux.

Pour les autres réservations, une vérification suivant le §2.3.2.8 devra être menée.

Aucune réservation pour passage de câble ne doit être réalisée sur la partie supérieure des panneaux de toiture recevant une étanchéité.

2.4.3. Dispositions relatives aux parements extérieurs

2.4.3.1. Revêtement de façade

Sauf dispositions particulières, le panneau est considéré comme un élément de structure qui nécessite la mise en œuvre d'une vêtue extérieure :

- Pour les bardages : un revêtement extérieur conforme au NF DTU 41.2 peut être mis en œuvre sur parois en panneaux PFEIFER CLT dans le respect des dispositions du NF DTU 31.2
- ETICS : la mise en œuvre sera alors conforme à l'évaluation technique du revêtement extérieur.

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.12.2. à 2.12.4 s'appliquent.

2.4.3.2. Étanchéité à l'eau

Les dispositions du Cahier 3802_P2 du CSTB §2.12.1 « étanchéité à l'eau » s'appliquent.

2.4.4. Dispositions relatives aux revêtements de sol désolidarisés

Les caractéristiques des planchers du présent Avis Technique permettent de répondre aux exigences des chapes ou revêtements de sol visant les planchers bois spécifiés dans les normes de mises en œuvre suivantes et uniquement pour les revêtements désolidarisés :

- Dans le DTU 51.3 pour la pose 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.

Concernant la vérification du support :

- La vérification de l'humidité devra être réalisée conformément au guide Construction bois et gestion de l'humidité en phase chantier (CODIFAB – Avril 2020) en considérant les compléments suivants et devra faire l'objet d'une fiche d'autocontrôle qui prendra la forme d'un « Bon à Fermer » (cf. Tableau 10) ;
- La mesure d'humidité doit être mesurée régulièrement, au moins une fois par mois, jusqu'au jour du « Bon à Fermer » conformément au §3.1 du guide CODIFAB ;
- Les points de mesure doivent être répartis régulièrement, à raison de 2 points de contrôle tous les 100 m² d'un local : une proche de la façade et une au centre de la pièce ;
- Pour le « Bon à Fermer », une mesure complémentaire d'humidité devra être relevée à 2 cm de profondeur ;
- Les résultats obtenus devront être de 15±3% si la structure a été dimensionnée en classe de service 2 et de 12±2% si la structure a été dimensionnée en classe de service 1.
- Planéité et désaffleurement : imposés par le référentiel de la chape ou du revêtement de sol ou, à défaut, ceux du DTU 51.3. En cas de reprise de désaffleurement, un ponçage 5 mm au plus pourra être réalisé à l'aide d'une ponceuse par le charpentier ;
- Largeur des joints entre panneaux : La vérification de la largeur de joint devra être réalisée et consignée par le charpentier avant la mise en place des bandes adhésives. Si l'ouverture du joint entre panneaux est inférieure à 2 mm, il n'est pas nécessaire de traiter les joints. Lorsque l'ouverture des joints est supérieure à 2 mm sans dépasser 10 mm, ceux-ci doivent être remplis de mastics souples compatibles avec les éléments bois et doivent être affleurés. La mise en œuvre de ce mastic sera réalisée par le charpentier ;
- Continuité au droit des appuis : La rotation sur appui induit une ouverture entre deux panneaux inférieurs à 2 mm. Lorsqu'elle est nécessaire pour le revêtement de sol, la continuité peut être réalisée par la mise en place d'une jonction par languette si le panneau CLT support n'est pas continu sur appuis ;
- Il relève de la conception d'éviter toute présence de point dur au moment du coulage de la chape (exemple : connecteurs nervurés).

2.5. Assistance technique

La conception et le calcul des panneaux PFEIFER CLT sont à la charge du bureau d'études techniques référencé par le service d'assistance technique Pfeifer Timber. Le bureau d'études doit également fournir un plan de pose complet dont 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 des panneaux et autres détails (traitement des ouvertures, etc.).

Pfeifer Timber prête l'assistance technique nécessaire dans ce cadre. Pfeifer Timber fournit une assistance technique sur demande en phase de conception et de préparation d'exécution de la structure. Un logiciel de dimensionnement est tenu à disposition des bureaux d'études par Pfeifer Timber, afin de vérifier en phase définitive les éléments porteurs.

2.6. Principes de fabrication et de contrôle de cette fabrication

2.6.1. Fabrication

La fabrication des panneaux PFEIFER CLT est effectuée dans l'usine de la société PFEIFER TIMBER GmbH à D -36110 Schlitz en Allemagne.

La fabrication des panneaux PFEIFER CLT comporte les étapes suivantes :

- Séchage du bois à une humidité de 12% ±2 mesuré selon la norme EN 13183-2 ;
- Tri et marquage des planches selon leurs caractéristiques mécaniques et visuelles ;
- Aboutage des planches longitudinales et transversales, ensuite découpées à la longueur souhaitée ;
- Rabotage des planches suivant l'épaisseur des plis souhaitée ;
- Préparation des plis avec mise en place des planches bord à bord ;
- Encollage successif des plis sur la surface des planches ;
- Pressage hydraulique sous 0,6 N/mm² avec un serrage suivant les 6 faces ;
- Taillage éventuel réalisé sur un centre à commande numérique.

2.6.2. Contrôle de la fabrication

La fabrication des panneaux PFEIFER CLT est soumise d'une part à une procédure de contrôle interne en usine mise en œuvre par le fabricant, d'autre part à un contrôle externe assuré par l'organisme autrichien Holzforchung Austria de Vienne.

2.6.2.1. Contrôle interne de fabrication

Le contrôle interne de la fabrication, destiné à assurer la maîtrise de la qualité, est organisé selon les prescriptions de la norme 14080. Le contrôle porte notamment sur :

- La qualité du bois ;
- La qualité de la colle ;
- L'aboutage et le rabotage des lamelles ;
- Le pressage ;
- Le taillage.

Les résultats sont consignés dans des fiches spécifiques pour les planches d'une part et panneaux PFEIFER CLT finis d'autre part indiquant notamment :

- La procédure de réception et le stockage des matières premières ;
- La conformité du bois au classement mécanique annoncé selon la norme NF EN 338. Une procédure écrite définit les moyens mis en œuvre pour assurer la conformité de la qualité des bois au cahier des charges. Les bois utilisés bénéficient 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 est 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 (fixé à 12% \pm 2%). Une procédure interne définit 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 sont consignés sur un cahier ou sur des fiches de contrôle.

Les résultats du contrôle interne sont consignés sur un registre spécifique qui précise notamment les éléments suivants :

- Date et numéro de production ;
- Dimensions, orientation et nombre de plis ;
- Essence de bois ;
- Quantité de colle ;
- Pression de collage ;
- Heure de début et de fin de collage ;
- Humidité et température de l'air ;
- Heure de début et de fin de pressage.

Pfeifer effectue les séries d'essais suivantes en laboratoire, pour vérifier les performances minimales requises :

- Essais de délamination suivant la NF EN 14080 (fréquence : min. 1 échantillon par cycle de pressage, max. 5 échantillons par jour) ;
- Mesure de l'épaisseur du joint de colle (fréquence : min. 1 échantillon par cycle de pressage, max. 5 échantillons par jour) ;
- Résistance des entures réalisées pour l'aboutage suivant la EN 14080 et EN 408 (fréquence : 3 essais de flexion par équipe).

2.6.2.2. Contrôle externe

Le contrôle externe est réalisé par l'organisme autrichien Holzforschung Austria de Vienne (2 visites d'inspection par an).

Le contrôle externe effectué comporte les tâches suivantes :

- Vérification de la tenue à jour des procédures de contrôle interne ;
- Contrôle sur la production courante de tous les paramètres de collage ;
- Prélèvement d'échantillons pour la réalisation d'essais dans leur propre laboratoire ;
- Commentaires sur les résultats d'essais ;
- Les registres du contrôle externe sont conservés pendant 10 ans.

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

2.7. Mention des justificatifs

2.7.1. Données environnementales

FDES des Panneaux CLT PFEIFER (Lamellé-Croisé) hors ferrures vérifiées par tierce partie de décembre 2023

2.7.2. Résultats expérimentaux

Appréciation de laboratoire au feu CSTB AL20-293_v2 du 23/10/2024

Rapport d'essai sur la résistance des panneaux CLT au feu, mené par l'université technique de Braunschweig. Rapport UntersuchungsberichtPfeifer – SB du 08.04.2020

Rapport d'essai 8629/2023 pour la mesure de émissions de COV des panneaux CLT, mené par le Holzforschung Austria – 21/08/2023

2.7.3. Références chantiers

Bâtiments à usage d'habitation

2022 : Maison individuelle à Wildersbach (67130), avec 220m² de panneaux PFEIFER CLT en murs, planchers et support d'étanchéité.

2023 : Maison individuelle à Roquebrune-sur-Argens (83340), avec 310m² de panneaux PFEIFER CLT en murs, planchers et support d'étanchéité.

Bâtiment public

2022 : Gymnase Jean Lamour à Nancy (54000), avec 1400m² de panneaux PFEIFER CLT en murs, planchers et support d'étanchéité.

2024 : Groupe scolaire Les Peupliers à Mulhouse (68200), avec 2670m² de panneaux PFEIFER CLT en murs, planchers et support d'étanchéité.

2024 : Groupe scolaire Les Pyramides à Evry-Courcouronnes (91000), avec 3110m² de panneaux PFEIFER CLT en murs, planchers et support d'étanchéité.

Bâtiment industriel

2024 : Locaux professionnels à Biganos (33380), avec 540m² de panneaux PFEIFER CLT en murs et planchers.

Bureaux

2023 : Bureaux à Benasse Maremne (40230), avec 290m² de panneaux PFEIFER CLT en planchers.

2.8. Annexe du Dossier Technique

Tableau 1 : compositions standards des panneaux PFEIFER CLT

PFEIFER CLT		Orientation des plis	Composition mm	Longueur m	Largeur m	Poids* kg/m ²
60	3s	longitudinal (DL) ou transversal (DQ)	20-20-20	de 8,00m à 14,50m	de 2,45m à 3,10m	28,8
80	3s		30-20-30			38,4
90	3s		30-30-30			43,2
100	3s		30-40-30			48,0
110	3s		40-30-40			52,8
120	3s		40-40-40			57,6
100	5s		20-20-20-20-20			48,0
120	5s		30-20-20-20-30			57,6
140	5s		40-20-20-20-40			67,2
150	5s		40-20-30-20-40			72,0
160	5s		40-20-40-20-40			76,8
180	5s		40-30-40-30-40			86,4
200	5s		40-40-40-40-40			96,0
180	7s		30-20-30-20-30-20-30			86,4
200	7s		20-40-20-40-20-40-20			96,0
220	7s		30-30-30-40-30-30-30			105,6
240	7s		30-40-30-40-30-40-30			115,2
260	7s		30-40-40-40-40-40-30			124,8
280	7s		40-40-40-40-40-40-40			134,4
180	7ss		30-30-20-20-20-30-30			86,4
200	7ss		30-30-30-20-30-30-30			96,0
220	7ss		30-30-30-40-30-30-30			105,6
240	7ss		40-40-20-40-20-40-40			115,2
260	7ss		40-40-30-40-30-40-40			124,8
280	7ss		40-40-40-40-40-40-40			134,4

- **DL** : plis extérieurs dans le sens longitudinal | **DQ** : plis extérieurs dans le sens transversal
- **ss** : plis extérieurs composés de 2 lamelles orientées successivement dans la même direction
- Format minimal de production : 2,45 x 8,00m
- Les plis de 40 mm peuvent être composés de 2x 20mm (par exemple pour les finitions visibles)
- * poids à prendre en compte pour le transport et le levage, calculé avec $\rho = 480 \text{ kg/m}^3$

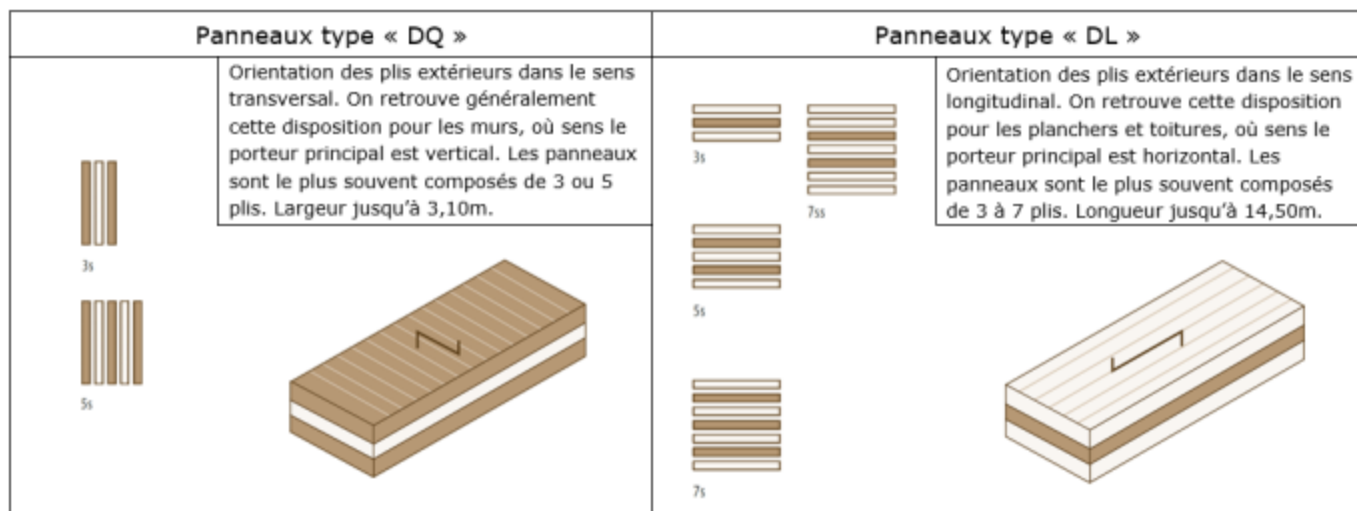


Tableau 2 - dimensions et caractéristiques des panneaux PFEIFER CLT, extrait ATE-20-0023

Propriétés	Caractéristiques/valeurs	
Panneau		
Epaisseur	mm	60 à 280
Largeur	m	≤ 3,10
Longueur	m	≤ 14,50
Nombre de plis	-	de 3 à 7 en composition symétrique
Nombre maximal de plis (n) orientés dans la même direction		2 pour n=5 3 pour n>5
Largeur maximale des joints entre planches d'un même pli	mm	≤ 6
Planches		
Surface	-	rabotée
Epaisseur (après rabotage)	mm	16 à 45
Largeur	mm	72 à 300
Rapport largeur sur hauteur	-	≥ 4 : 1
Les planches sont triées mécaniquement, afin de définir leur classe de résistance selon la norme EN338		
Plis extérieurs		C24
Plis intérieurs		≤ 10% C16 ≥ 90% C24
Humidité du bois mesurée selon la norme EN 13183-2	%	10 ± 2% ou 12 ± 2% uniquement une des deux valeurs pourra être retenue au sein d'un même panneau
Aboutage des planches	-	EN 14080

Tableau 3 : valeurs des résistances caractéristiques, pour les sollicitations appliquées sur la face des panneaux, suivant ATE-20-0023

Critères	Méthode d'identification	Classe / Valeur / Description
1. Résistance mécanique et stabilité		
1. Sollicitations appliquées sur la face du panneau		
Classe de résistance des planches	EN 338	Plis extérieurs : C24 Plis intérieurs : ≤ 10% C16 ≥ 90% C24
Module d'élasticité - parallèle au sens de fil des plis extérieurs $E_{0,mean}$ - perpendiculaire au sens de fil des plis extérieurs $E_{90,mean}$	I_{eff} , EAD 130005-00-0304, 2.2.1.1. EN 338	11 000 N/mm ² 370 N/mm ²
Module de cisaillement - parallèle au sens de fil des plis extérieurs $G_{090,mean}$ - perpendiculaire au sens de fil des plis extérieurs (cisaillement roulant) $G_{9090,mean}$	EN 338 EAD 130005-00-0304, 2.2.1.1.	690 N/mm ² 50 N/mm ²
Résistance à la flexion - parallèle au sens de fil des plis extérieurs $f_{m,k}$	W_{eff} , EAD 130005-00-0304, 2.2.1.1.	24 N/mm ²
Résistance à la traction - perpendiculaire au sens de fil des plis extérieurs $f_{t,90,k}$	EN 338	0,12 N/mm ²
Résistance à la compression - perpendiculaire au sens de fil des plis extérieurs $f_{c,90,k}$	EN 338	2,5 N/mm ²
Résistance au cisaillement - parallèle au sens de fil des plis extérieurs $f_{v,090,k}$ - perpendiculaire au sens de fil des plis extérieurs (cisaillement roulant) $f_{v,9090,k}$	EN 338 A_{gross} , ETE ETA-20/0023	3,7 N/mm ² 1,3 N/mm ²

Tableau 4 : valeurs des résistances caractéristiques, pour les sollicitations appliquées sur le chant des panneaux, suivant ETA-20/0023

Critères	Méthode d'identification	Classe / Valeur / Description
1. Résistance mécanique et stabilité		
2. Sollicitations appliquées sur le chant du panneau		
Classe de résistance des planches	EN 338	Plis extérieurs : C24 Plis intérieurs : ≤ 10% C16 ≥ 90% C24
Module d'élasticité - parallèle au sens de fil des plis extérieurs $E_{0,mean}$	A_{net} I_{net} , EAD 130005-00-0304, 2.2.1.1.	11 000 N/mm ²
Module de cisaillement - parallèle au sens de fil des plis extérieurs $G_{090,mean}$	A_{net} , EAD 130005-00-0304, 2.2.1.3.	450 N/mm ²
Résistance à la flexion - parallèle au sens de fil des plis extérieurs $f_{m,k}$	W_{net} , EAD 130005-00-0304, 2.2.1.1.	24 N/mm ²
Résistance à la traction - parallèle au sens de fil des plis extérieurs $f_{t,0,k}$	EN 338	14,5 N/mm ²
Résistance à la compression - parallèle au sens de fil des plis extérieurs $f_{c,0,k}$	EN 338	21 N/mm ²
Résistance au cisaillement - parallèle au sens de fil des plis extérieurs $f_{v,090,k}$	A_{net} , EAD 130005-00-0304, 2.2.1.3.	3,5 N/mm ²

Tableau 5 : propriétés des panneaux PFEIFER CLT suivant ATE-20-0023

Critères	Méthode d'identification	Classe / Valeur / Description
2. Réaction au feu		
Produits bois lamellés collés	Décision de la commission 2005/610/EC	Masse volumique du bois ≥ 380 kg/m ³ Euroclasse : D-s2, d0
3. Hygiène, santé et protection de l'environnement		
Ouverture à la diffusion μ	EN ISO 10456	50 (sec) à 20 (humide)
4. Sécurité		
Résistance à l'impact	La résistance à l'impact est considérée comme satisfaite pour les murs composés d'au moins 3 plis et d'une épaisseur minimale de 60mm	
5. Economie d'énergie et isolation thermique		
Conductivité thermique du bois λ	EN ISO 10456	0,12 W/(m.K)
Etanchéité à l'air	EN 12114	Classe 4 selon EN 12207
Capacité calorifique du bois C_p	EN ISO 10456	1 600 J/(kg.K)

Tableau 6 : caractéristiques géométriques des sections de panneaux PFEIFER CLT dans la direction x – parallèle à l'orientation des plis extérieurs, pour une largeur de 1m

PFEIFER CLT			A _{x,net}	I _{x,net}	W _{x,net}	i _{x,net}	I _{x,eff}			
Epaisseur	Nombre	Composition					2m	4m	6m	8m
[mm]	de plis	[mm]	[cm ²]	[cm ⁴]	[cm ³]	[cm]	[cm ⁴]			
60	3s	20-20-20	400	1733	578	2,08	1577	1691	1714	1723
70	3s	20-30-20	400	2633	752	2,57	2283	2536	2589	2608
80	3s	30-20-30	600	4200	1050	2,65	3675	4053	4133	4162
80	3s-V2	20-40-20	400	3733	933	3,06	3091	3548	3649	3685
90	3s	30-30-30	600	5850	1300	3,12	4790	5539	5707	5769
100	3s	30-40-30	600	7800	1560	3,61	5994	7247	7543	7653
100	3s-V2	40-20-40	800	8267	1653	3,21	6982	7896	8097	8170
110	3s	40-30-40	800	10867	1976	3,69	8459	10129	10524	10671
120	3s	40-40-40	800	13867	2311	4,16	9991	12613	13277	13528
100	5s	20-20-20-20-20	600	6600	1320	3,32	5458	6270	6449	6514
120	5s	30-20-20-20-30	800	12667	2111	3,98	9682	11752	12242	12424
130	5s	30-20-30-20-30	900	15675	2412	4,17	11990	14546	15151	15376
140	5s	40-20-20-20-40	1000	21133	3019	4,60	15078	19175	20213	20605
140	5s-V2	30-30-20-30-30	800	18667	2667	4,83	12710	16691	17732	18129
150	5s	40-20-30-20-40	1100	25492	3399	4,81	18164	23122	24378	24852
150	5s-V2	30-30-30-30-30	900	22275	2970	4,97	15186	19924	21163	21635
160	5s	40-20-40-20-40	1200	30400	3800	5,03	21680	27580	29074	29639
160	5s-V2	30-30-40-30-30	1000	26333	3292	5,13	18013	23574	25028	25582
170	5s	40-30-30-30-40	1100	35092	4128	5,65	21759	30358	32810	33769
180	5s	40-30-40-30-40	1200	40800	4533	5,83	25338	35310	38154	39267
190	5s	40-40-30-40-40	1100	46292	4873	6,49	25375	38264	42331	43975
200	5s	40-40-40-40-40	1200	52800	5280	6,63	29001	43666	48294	50164
180	7s	30-20-30-20-30-20-30	1200	38400	4267	5,66	25051	33842	36227	37146
200	7s	20-40-20-40-20-40-20	800	36267	3627	6,73	20997	30661	33538	34679
220	7s	30-30-30-40-30-30-30	1200	62400	5673	7,21	32272	50444	56437	58896
240	7s	30-40-30-40-30-40-30	1200	74400	6200	7,87	35836	58475	66350	69643
260	7s	30-40-40-40-40-40-30	1400	93667	7205	8,18	44254	72948	83137	87430
280	7s	40-40-40-40-40-40-40	1600	130133	9295	9,02	53945	95654	112102	119322
180	7ss	30+30-20-20-20-30+30	1400	46867	5207	5,79	29826	40817	43951	45177
200	7ss	30+30-30-20-30-30+30	1400	62467	6247	6,68	33407	50923	56708	59083
200	7ss-V2	30+40-20-20-20-40+30	1600	64933	6493	6,37	39392	55490	60328	62251
220	7ss	30+30-30-40-30-30+30	1600	80933	7358	7,11	42978	65856	73412	76513
220	7ss-V2	40+40-20-20-20-40+40	1800	87000	7909	6,95	50558	73014	80100	82963
240	7ss	40+40-20-40-20-40+40	2000	111467	9289	7,47	63869	93199	102454	106194
260	7ss	40+40-30-40-30-40+40	2000	138667	10667	8,33	65346	106827	122279	128909
280	7ss	40+40-40-40-40-40+40	2000	169067	12076	9,19	67524	120622	143182	153397

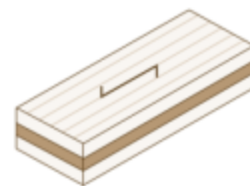
A_{x,net} : section nette du panneau en considérant les plis orientés dans la direction x

I_{x,net} : inertie nette du panneau en considérant les plis orientés dans la direction x

W_{x,net} : module d'inertie nette du panneau dans la direction x, avec $W_{x,net} = I_{x,net}/(0,5xh)$

i_{x,net} : rayon de giration net dans la direction x, avec $i_{x,net} = \sqrt{I_{x,net}/A_{x,net}}$

I_{x,eff} : moment d'inertie effectif tenant compte de la déformation au cisaillement



Sens porteur x parallèle à l'orientation des plis extérieurs

Tableau 7 : caractéristiques géométriques des sections de panneaux PFEIFER CLT dans la direction y - perpendiculaire à l'orientation des plis extérieurs, pour une largeur de 1m

PFEIFER CLT			$A_{y,net}$	$I_{y,net}$	$W_{y,net}$	$i_{y,net}$	$I_{y,eff}$			
Epaisseur	Nombre	Composition					1m	2m	2,5m	3m
[mm]	de plis	[mm]	[cm ²]	[cm ⁴]	[cm ³]	[cm]	[cm ⁴]			
60	3s	20-20-20	200	67	67	0,58	-	-	-	-
70	3s	20-30-20	300	225	150	0,87	-	-	-	-
80	3s	30-20-30	200	67	67	0,58	-	-	-	-
80	3s-V2	20-40-20	400	533	267	1,15	-	-	-	-
90	3s	30-30-30	300	225	150	0,87	-	-	-	-
100	3s	30-40-30	400	533	267	1,15	-	-	-	-
100	3s-V2	40-20-40	200	67	67	0,58	-	-	-	-
110	3s	40-30-40	300	225	150	0,87	-	-	-	-
120	3s	40-40-40	400	533	267	1,15	-	-	-	-
100	5s	20-20-20-20-20	400	1733	578	2,08	1249	1577	1629	1660
120	5s	30-20-20-20-30	400	1733	578	2,08	1249	1577	1629	1660
130	5s	30-20-30-20-30	400	2633	752	2,57	1647	2283	2397	2465
140	5s	40-20-20-20-40	400	1733	578	2,08	1249	1577	1629	1660
140	5s-V2	30-30-20-30-30	600	4200	1050	2,65	2721	3675	3846	3947
150	5s	40-20-30-20-40	400	2633	752	2,57	1647	2283	2397	2465
150	5s-V2	30-30-30-30-30	600	5850	1671	3,12	3181	4790	5120	5321
160	5s	40-20-40-20-40	400	3733	933	3,06	2060	3091	3294	3416
160	5s-V2	30-30-40-30-30	600	7800	1560	3,61	3642	5994	6532	6871
170	5s	40-30-30-30-40	600	5850	1300	3,12	3181	4790	5120	5321
180	5s	40-30-40-30-40	600	7800	1560	3,61	3642	5994	6532	6871
190	5s	40-40-30-40-40	800	10867	1976	3,69	5322	8459	9176	9627
200	5s	40-40-40-40-40	800	13867	2311	4,16	5743	9991	11083	11796
180	7s	30-20-30-20-30-20-30	600	10200	1700	4,12	4543	7743	8475	8935
200	7s	20-40-20-40-20-40-20	1200	30400	3800	5,03	12122	21680	24136	25741
220	7s	30-30-30-40-30-30-30	1000	26333	3292	5,13	9564	18013	20295	21811
240	7s	30-40-30-40-30-40-30	1200	40800	4533	5,83	12472	25338	29266	31999
260	7s	30-40-40-40-40-40-30	1200	52800	5867	6,63	13044	29001	34508	38541
280	7s	40-40-40-40-40-40-40	1200	52800	5280	6,63	13044	29001	34508	38541
180	7ss	30+30-20-20-20-30+30	400	1733	578	2,08	1249	1577	1629	1660
200	7ss	30+30-30-20-30-30+30	600	4200	1050	2,65	2721	3675	3846	3947
200	7ss-V2	30+40-20-20-20-40+30	400	1733	578	2,08	1249	1577	1629	1660
220	7ss	30+30-30-40-30-30+30	600	7800	2600	3,61	3642	5994	6532	6871
220	7ss-V2	40+40-20-20-20-40+40	400	1733	578	2,08	1249	1577	1629	1660
240	7ss	40+40-20-40-20-40+40	400	3733	933	3,06	2060	3091	3294	3416
260	7ss	40+40-30-40-30-40+40	600	7800	1560	3,61	3642	5994	6532	6871
280	7ss	40+40-40-40-40-40+40	800	13867	2311	4,16	5743	9991	11083	11796

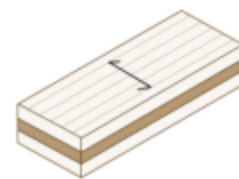
$A_{y,net}$: section nette du panneau en considérant les plis orientés dans la direction y

$I_{y,net}$: inertie nette du panneau en considérant les plis orientés dans la direction y

$W_{y,net}$: module d'inertie nette du panneau dans la direction x, avec $W_{y,net} = I_{y,net}/(0,5xh)$

$i_{y,net}$: rayon de giration net dans la direction y, avec $i_{x,net} = \sqrt{I_{y,net}/A_{y,net}}$

$I_{y,eff}$: moment d'inertie effectif tenant compte de la déformation au cisaillement



Sens porteur y perpendiculaire à l'orientation des plis extérieurs

Tableau 8 : valeurs des résistances caractéristiques des panneaux PFEIFER CLT rapportées à une section pleine

PFEIFER CLT			Valeurs de résistance caractéristiques [MPa]												Valeurs de rigidité moyenne [MPa]							
			A plat						A chant			Dans le plan du panneau			A plat				A chant			
Epaisseur [mm]	Nombre de plis	Composition	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	k_{rel}	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$E_{0,mean}$	$E_{90,mean}$	$G_{0,0,k}$	$E_{0,mean}$	$E_{90,mean}$	$G_{0,0,mean}$	$G_{0,90,mean}$
60	3s	20-20-20	23,1	2,68	2,50	0,12	1,40	0,43	16,00	8,00	1,07	9,67	4,83	14,00	7,00	10593	407	50	7333	3667	460	230
70	3s	20-30-20	22,1	4,41	2,50	0,12	1,53	0,56	13,71	10,29	1,37	8,29	6,21	12,00	9,00	10134	866	50	6286	4714	394	296
80	3s	30-20-30	23,6	1,51	2,50	0,12	1,34	0,33	18,00	6,00	0,80	10,88	3,63	15,75	5,25	10828	172	50	8250	2750	518	173
80	3s	20-40-20	21,0	6,00	2,50	0,12	1,70	0,65	12,00	12,00	1,60	7,25	7,25	10,50	10,50	9625	1375	50	5500	5500	345	345
90	3s	30-30-30	23,1	2,67	2,50	0,12	1,40	0,43	16,00	8,00	1,07	9,67	4,83	14,00	7,00	10593	407	50	7333	3667	460	230
100	3s	30-40-30	22,5	3,84	2,50	0,12	1,48	0,52	14,40	9,60	1,28	8,70	5,80	12,60	8,40	10296	704	50	6600	4400	414	276
100	3s-V2	40-20-40	23,8	0,96	2,50	0,12	1,32	0,26	19,20	4,80	0,64	11,60	2,90	16,80	4,20	10912	88	50	8800	2200	552	138
110	3s	40-30-40	23,5	1,79	2,50	0,12	1,35	0,35	17,45	6,55	0,87	10,55	3,95	15,27	5,73	10777	223	50	8000	3000	502	188
120	3s	40-40-40	23,1	2,67	2,50	0,12	1,40	0,43	16,00	8,00	1,07	9,67	4,83	14,00	7,00	10593	407	50	7333	3667	460	230
100	5s	20-20-20-20-20	19,0	8,32	2,50	0,12	2,07	0,52	14,40	9,60	1,28	8,70	5,80	12,60	8,40	8712	2288	50	6600	4400	414	276
120	5s	30-20-20-20-30	21,1	5,78	2,50	0,12	1,68	0,43	16,00	8,00	1,07	9,67	4,83	14,00	7,00	9676	1324	50	7333	3667	460	230
130	5s	30-20-30-20-30	20,5	6,41	2,50	0,12	1,77	0,40	16,62	7,38	0,98	10,04	4,46	14,54	6,46	9418	1582	50	7615	3385	478	212
140	5s	40-20-20-20-40	22,2	4,24	2,50	0,12	1,52	0,37	17,14	6,86	0,91	10,36	4,14	15,00	6,00	10166	834	50	7857	3143	493	197
140	5s-V2	30-30-20-30-30	19,6	7,71	2,50	0,12	1,95	0,56	13,71	10,29	1,37	8,29	6,21	12,00	9,00	8980	2020	50	6286	4714	394	296
150	5s	40-20-30-20-40	21,8	4,81	2,50	0,12	1,58	0,35	17,60	6,40	0,85	10,63	3,87	15,40	5,60	9970	1030	50	8067	2933	506	184
150	5s-V2	30-30-30-30-30	19,0	8,32	2,50	0,12	2,07	0,52	14,40	9,60	1,28	8,70	5,80	12,60	8,40	8712	2288	50	6600	4400	414	276
160	5s	40-20-40-20-40	21,4	5,25	2,50	0,12	1,64	0,33	18,00	6,00	0,80	10,88	3,63	15,75	5,25	9797	1203	50	8250	2750	518	173
160	5s-V2	30-30-40-30-30	18,5	8,78	2,50	0,12	2,18	0,49	15,00	9,00	1,20	9,06	5,44	13,13	7,88	8486	2514	50	6875	4125	431	259
170	5s	40-30-30-30-40	20,6	6,48	2,50	0,12	1,77	0,46	15,53	8,47	1,13	9,38	5,12	13,59	7,41	9428	1572	50	7118	3882	446	244
180	5s	40-30-40-30-40	20,1	6,93	2,50	0,12	1,84	0,43	16,00	8,00	1,07	9,67	4,83	14,00	7,00	9235	1765	50	7333	3667	460	230
190	5s	40-40-30-40-40	19,4	7,88	2,50	0,12	1,98	0,55	13,89	10,11	1,35	8,39	6,11	12,16	8,84	8909	2091	50	6368	4632	399	291
200	5s	40-40-40-40-40	19,0	8,32	2,50	0,12	2,07	0,52	14,40	9,60	1,28	8,70	5,80	12,60	8,40	8712	2288	50	6600	4400	414	276
180	7s	30-20-30-20-30-20-30	19,0	7,56	2,50	0,12	2,08	0,43	16,00	8,00	1,07	9,67	4,83	14,00	7,00	8691	2309	50	7333	3667	460	230
200	7s	20-40-20-40-20-40-20	13,1	13,68	2,50	0,12	4,39	0,78	9,60	14,40	1,28	5,80	8,70	8,40	12,60	5984	5016	50	4400	6600	276	414
220	7s	30-30-30-40-30-30-30	16,9	9,79	2,50	0,12	2,63	0,59	13,09	10,91	1,45	7,91	6,59	11,45	9,55	7736	3264	50	6000	5000	376	314
240	7s	30-40-30-40-30-40-30	15,5	11,33	2,50	0,12	3,12	0,65	12,00	12,00	1,60	7,25	7,25	10,50	10,50	7104	3896	50	5500	5500	345	345
260	7s	30-40-40-40-40-40-30	15,3	11,25	2,50	0,12	3,18	0,60	12,92	11,08	1,48	7,81	6,69	11,31	9,69	7035	3965	50	5923	5077	372	318
280	7s	40-40-40-40-40-40-40	17,1	9,70	2,50	0,12	2,57	0,56	13,71	10,29	1,37	8,29	6,21	12,00	9,00	7825	3175	50	6286	4714	394	296
180	7ss	30+30-20-20-20-30+30	23,1	2,57	2,50	0,12	1,40	0,29	18,67	5,33	0,71	11,28	3,22	16,33	4,67	10608	392	50	8556	2444	537	153
200	7ss	30+30-30-20-30-30+30	22,5	3,78	2,50	0,12	1,48	0,39	16,80	7,20	0,96	10,15	4,35	14,70	6,30	10307	693	50	7700	3300	483	207
200	7ss-V2	30+40-20-20-20-40+30	23,4	2,08	2,50	0,12	1,37	0,26	19,20	4,80	0,64	11,60	2,90	16,80	4,20	10714	286	50	8800	2200	552	138
220	7ss	30+30-30-40-30-30+30	21,9	4,64	2,50	0,12	1,56	0,35	17,45	6,55	0,87	10,55	3,95	15,27	5,73	10033	967	50	8000	3000	502	188
220	7ss-V2	40+40-20-20-20-40+40	23,5	1,72	2,50	0,12	1,35	0,24	19,64	4,36	0,58	11,86	2,64	17,18	3,82	10785	215	50	9000	2000	565	125
240	7ss	40+40-20-40-20-40+40	23,2	2,33	2,50	0,12	1,39	0,22	20,00	4,00	0,53	12,08	2,42	17,50	3,50	10644	356	50	9167	1833	575	115
260	7ss	40+40-30-40-30-40+40	22,7	3,32	2,50	0,12	1,45	0,30	18,46	5,54	0,74	11,15	3,35	16,15	4,85	10414	586	50	8462	2538	531	159
280	7ss	40+40-40-40-40-40+40	22,2	4,25	2,50	0,12	1,52	0,37	17,14	6,86	0,91	10,36	4,14	15,00	6,00	10166	834	50	7857	3143	493	197

2.8.1. Méthodologie de dimensionnement des panneaux PFEIFER CLT aux éléments finis

Pour la modélisation et le dimensionnement, les panneaux CLT sont généralement découpés « en bandes », et considérés comme des poutres sollicitées uni-directionnellement. Cette approche conservatrice consiste à vérifier les planchers comme des poutres en flexion simple et les murs comme des poteaux.

Néanmoins, dans certains cas, il est nécessaire de considérer les panneaux CLT suivant leurs caractéristiques mécaniques bidirectionnelles, en tant qu'élément de type plaque ou diaphragme. Cela permet en effet d'exploiter pleinement les caractéristiques mécaniques des panneaux CLT. Dans ce cas, les modèles associés sont soit des réseaux de poutres, à savoir un maillage plan d'éléments croisés dans les deux directions principales, ou alors des modèles aux éléments finis, à savoir de faces combinées à partir d'éléments discrets.

Le chapitre ci-dessous s'attache à décrire le principe de base pour la modélisation des panneaux PFEIFER CLT aux éléments finis, et leurs applications.

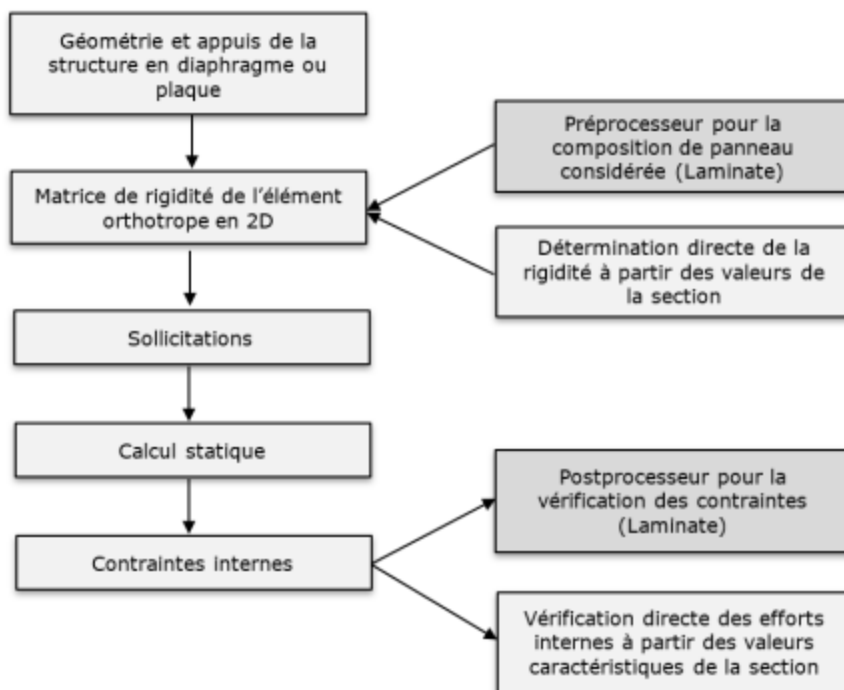
2.8.1.1. Méthodologie de calcul

Le calcul et la vérification des panneaux PFEIFER CLT aux éléments finis suit la méthode décrite dans le schéma en figure 4. Pour le calcul, les données d'entrée appropriées pour des éléments finis doivent être utilisés. Certains logiciels disposent d'un « préprocesseur », pour la préparation de ces données d'entrée pour la simulation aux *éléments finis* : dans ce cas le programme calcul en partie automatiquement les caractéristiques des panneaux suivant l'empilage des plis, à partir des propriétés mécaniques du matériau composant les plis. Néanmoins, pour le dimensionnement statique, l'utilisation du préprocesseur n'est pas nécessaire. Les valeurs de rigidité pour le calcul statique peuvent être déterminées « à la main » et être intégrées directement en valeur caractéristique des matrices de rigidité. Ces matrices de rigidité sont identiques dans les deux cas. Un calcul manuel est généralement requis pour la bonne détermination de la rigidité en torsion.

La géométrie du modèle statique est déterminée au niveau de l'axe neutre de la section du panneau CLT. Les conditions d'appui des panneaux sont déterminées ponctuellement ou linéairement, et les assemblages entre éléments le plus souvent articulés (rotule) avec des joints linéiques. Après détermination des sollicitations et de leurs combinaisons, on peut déterminer les déformations, puis enfin les efforts internes à la section.

La vérification des taux de travail dans les éléments peut être automatisée avec un « postprocesseur », au niveau de la rigidité des planches composant les plis, ou par calcul manuel en comparaison directe entre les efforts internes et la capacité portante de la section de panneau associée.

Figure 4 : schéma de étapes de calcul pour le dimensionnement des éléments CLT



2.8.1.2. Modèles élément finis

2.8.1.2.1. Éléments de type coque pour effet plaque et diaphragme

En raison de la composition des plis, empilés en couches croisées à 90°, les panneaux PFEIFER CLT sont à considérer comme matériau orthotropes. Cela signifie que le comportement en déformations est différent suivant les deux directions principales. Une influence réciproque des sollicitations longitudinales et transversales ne doit pas être appliquée dans les cas des panneaux CLT. Néanmoins l'influence des déformations dues au cisaillement dans le panneau doivent être pris en compte.

Avec la rigidité de l'élément en coque, on peut établir la relation entre déformations des éléments et efforts internes. Ceux-ci sont indiqués sous-forme d'une matrice, comme indiqué en figure 5. A partir des résultats de la matrice, il en ressort qu'il n'existe pas de relation entre les efforts normaux dans une direction et les déformations dans la seconde direction. C'est la raison pour laquelle dans le cas des panneaux CLT, les déformations transversales sont généralement négligées. Cela peut être justifié par le coefficient de déformation transversale du bois relativement faible, et la composition des panneaux à partir de lamelles individuelles formant entre elles des joints transversaux perpendiculaire au sens porteur. Le comportement des panneaux CLT à la torsion est complexe. La rigidité en torsion est faible et entraîne des efforts internes, qui ne sont normalement pas à prendre en compte pour le dimensionnement. On admet l'hypothèse conservatrice d'une flexibilité complète en torsion, entraînant des déformations et des moments de flexion légèrement plus élevés dans le panneau. La capacité portante des panneaux sans rigidité en torsion correspond à celle d'un maillage de poutres suivant le principe de Timoshenko.

Figure 5 : matrice de rigidité d'un panneau PFEIFER CLT en tant que diaphragme orthotrope et élément en plaque

$$\begin{pmatrix} N_l \\ N_t \\ N_{lt} \\ M_l \\ M_t \\ M_{lt} \\ V_{lz} \\ V_{tz} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & & & & & & & & \\ \text{Sym} & D_{22} & & & & & & & \\ & & D_{33} & & & & & & \\ & & & D_{44} & & & & & \\ & & & & D_{55} & & & & \\ & & & & & D_{66} & & & \\ & & & & & & D_{77} & & \\ & & & & & & & D_{88} & \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \epsilon_{ml} \\ \epsilon_{mt} \\ \gamma_{mlt} \\ \epsilon_{fl} \\ \epsilon_{ft} \\ \gamma_{flt} \\ \gamma_{tz} \\ \gamma_{lz} \end{pmatrix}$$

2.8.1.2.2. Efforts

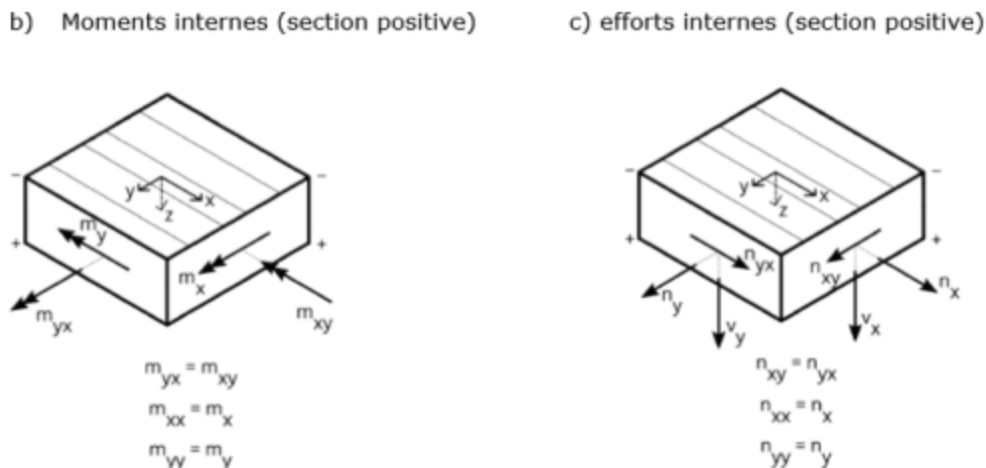
Pour les diaphragmes et éléments en plaques, la convention des efforts internes provenant de la construction en béton est appliquée, voir figure 6. Les sollicitations internes sont considérées pour une bande de panneau d'un mètre de largeur et sont désignées par les lettres *m* pour les moments, *v* pour les efforts de cisaillement et *n* pour les diaphragmes ou les efforts normaux. Le premier indice indique les contraintes internes avec l'axe qui est normal à la section plane. Le second indice indique la direction dans laquelle l'effort agit, comme conséquence des efforts internes. Si les deux indices sont identiques, le second indice est à omettre. Pour les panneaux CLT, cela signifie par exemple que les lamelles sont sollicitées par *m_x*, qui agit dans la direction *x* du panneau. Il est recommandé de définir la direction *x* comme l'orientation des plis extérieurs du panneau.

- a. Convention des contraintes internes pour les éléments plaques

Les contraintes internes sont positives lorsqu'elles génèrent de la traction

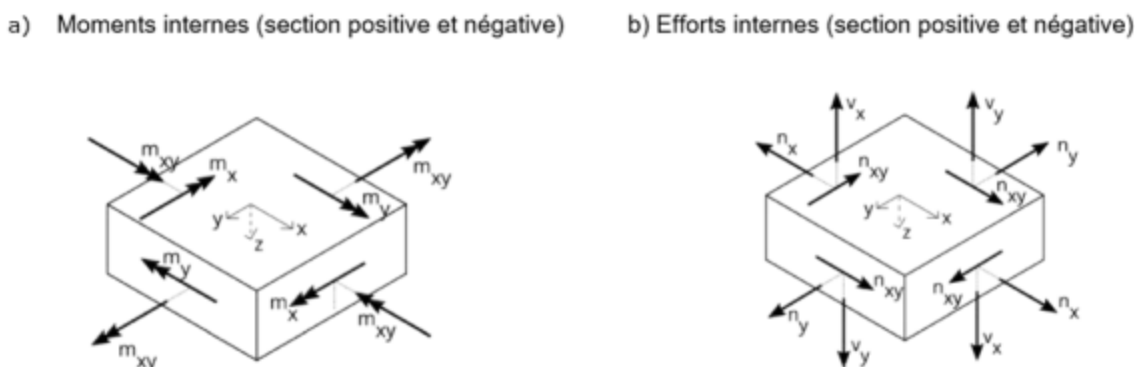


Figure 6 : contraintes internes bidirectionnelles pour les éléments structuraux conformément à la convention commune des programmes aux éléments finis



Il est déterminé que les moments de flexion sont positifs, s'ils entraînent des contraintes de traction du côté de la « surface positive », c'est-à-dire du côté avec la valeur de coordonnée z la plus grande. Toutes les autres contraintes internes sont positives, si sur la section positive (« côté droit » sur la figure), les contraintes qui en résultent pointent dans la direction de l'axe positif. Les directions positives pour les sections négatives (« côté gauche » sur la figure) sont inversées, pour des raisons d'équilibre.

Figure 7 - sollicitations internes des sections opposées



2.8.1.2.3. Rigidités

La répartition des rigidités individuelles dans les deux directions principales du panneau CLT, peut être calculée à partir de la section nette.

La rigidité en flexion EI_x et EI_y , ainsi qu'en traction EA_x et EA_y , sont à calculer pour une section composite rigide croisée. La rigidité en torsion $k_D G I_T$ et le cisaillement dans le plan du panneau $k_S G_{brut}$ peuvent être déterminés à partir de la section brute, avec les facteurs de réduction associés respectifs. Pour la détermination de la rigidité en cisaillement, $k_x GA_x$ et $k_y GA_y$, le facteur correctif en cisaillement est déterminé suivant Timoshenko avec k_x et k_y calculés suivant les deux directions principales porteuses du panneau. Les valeurs des facteurs de correction sont issues de l'annexe autrichienne de l'Eurocodé et ÖNORM B 1995-1-1, qui propose une méthode plus réaliste, en tenant compte de l'influence des joints longitudinaux ou des fentes longitudinales dans les lamelles de bois.

Pour la rigidité en torsion, on applique :

$$K_{xy} = k_D G I_T = k_D \cdot G_{0,mean} \cdot \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$k_D = \frac{1}{1 + 6p_D \left(\frac{h_{max}}{a}\right)^{q_D}}$$

Avec :

b : largeur de panneau CLT considéré ($b=1m$)

h : épaisseur totale du panneau CLT

h_{max} : épaisseur du pli le plus épais

a : largeur moyenne des planches ; valeur recommandée pour $a = 150mm$

p_D, q_D : paramètres pour la rigidité en torsion selon le tableau NA.K.4 de la ÖNORM B 1995-1-1:2015

Paramètres de rigidité en torsion :

	Nombre de plis		
	3s	5s	7s ou plus
p_D	0,89	0,67	0,55
q_D	1,33	1,26	1,23

Pour les efforts de cisaillement dans le plan du panneau :

$$S^* = k_S GA = k_S \cdot G_{0,mean} \cdot b \cdot h$$

$$k_S = \frac{1}{1 + 6p_S \left(\frac{h_{max}}{a}\right)^{q_S}}$$

Avec :

b : largeur de panneau CLT considéré ($b=1m$)

h : épaisseur totale du panneau CLT

h_{max} : épaisseur du pli le plus épais

a : largeur moyenne des planches ; valeur recommandée pour $a = 150mm$

p_S, q_S : paramètres pour la rigidité en torsion selon le tableau NA.K.4 de la ÖNORM B 1995-1-1:2015

Paramètres de rigidité en cisaillement :

	Nombre de plis	
	3s	5s, 7s ou plus
p_S	0,53	0,43
q_S	1,21	

2.8.1.2.4. Résistance de la section

La résistance de la section en flexion, effort normal et cisaillement peut être déterminée en effectuant les vérifications de contraintes associées au niveau des sollicitations internes à la section. Pour la détermination et la vérification des contraintes de cisaillement en torsion, des considérations supplémentaires sont nécessaires :

Figure 8 : Distribution des efforts de cisaillement dues à la torsion



Comparé à une barre homogène de section rectangulaire, on observe sur la figure 8 que la courbe des contraintes de cisaillement dues à la torsion à travers la hauteur de la section, est linéaire pour les panneaux CLT. Ainsi, il est possible de déterminer la résistance en torsion $m_{R,T,d}$ à partir du moment de flexion W de la section brute.

$$W_T = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

$$m_{R,T,d} = W_T \cdot f_{v,d}$$

Avec :

b : largeur de panneau CLT considéré ($b=1m$)

h : épaisseur totale du panneau CLT

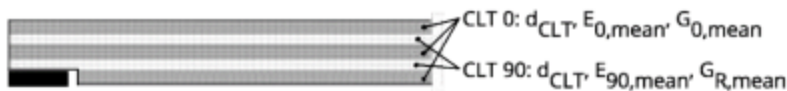
$f_{v,d}$: valeur de calcul pour la résistance en cisaillement

2.8.1.2.5. Répartition des charges

Pour l'analyse des problèmes de répartition des charges, il est dans certains cas nécessaire de faire appel à des modèles décrivant également le panneau CLT suivant son épaisseur.

Dans le cas d'une répartition des charges principalement uniaxiale, avec des contraintes dans le plan du panneau (comme par exemple avec des entailles ou encoches), on peut avoir recours à un modèle composé de couches empilées de plis homogènes. Pour cela, chaque pli est défini comme un panneau avec une épaisseur constante h et défini avec les caractéristiques mécaniques du matériau $E_{0,mean}$ et $G_{0,mean}$ pour les plis longitudinaux, et $E_{90,mean}$ et $G_{90,mean}$ pour les plis transversaux.

Figure 9 : modèle de panneau au niveau d'une encoche



La modélisation spatiale à l'aide d'éléments volumiques est généralement trop complexe pour être mis en pratique.

2.8.1.2.6. Cas particuliers

Tant pour les plaques que pour les diaphragmes, les hypothèses retenues pour le modèle de calcul peuvent faire apparaître des singularités dans les déformations et les contraintes.

Exemples de domaines d'applications :

- ouvertures et angles rentrants en plaque et diaphragme ;
- charges concentrées ou point d'appui en plaque et diaphragme ;
- contours arrondis de panneaux.

On appelle « singularités », des résultats qui en un point donné tendent vers l'infini. Les méthodes de calcul numérique, comme la méthode des éléments finis, ne fournissent que des valeurs finies, où les pics de contraintes augmentent avec l'affinage de la division du maillage.

Comme il s'agit d'un problème de modèle seulement, un calcul « exacte » des valeurs maximales n'est généralement pas nécessaire. Une structure réelle ne présente pas de singularités. Les concentrations de contraintes sont réduites par des réarrangements.

En général, il est judicieux de prendre en compte pour la division du maillage dans l'étude des éléments en plaque et diaphragme, des CLT composés de planches entre 15 et 30cm. A minima, il est nécessaire de diviser les bords de chaque élément en 6. Plus le maillage d'éléments finis est grossier, moins l'influence des singularités est importante.

Une manière pertinente de traiter les singularités, est d'intégrer les valeurs des résultats dans une zone proche de la singularité. En additionnant des grandeurs théoriquement infinies sur des longueurs relativement courtes, les résultats restent en équilibre avec les efforts et donnent des grandeurs pertinentes pour le calcul.

2.8.1.3. Modélisation des assemblages

Lors de la modélisation, il convient de déterminer la raideur d'assemblage au niveau des jonctions entre panneaux. Dans un premier temps, on peut définir ces liaisons comme de simples articulations (seule rotation possible suivant l'axe de la liaison). Ensuite, en fonction du type d'assemblage retenu (fausse-langnette, mi-bois, contact direct chant contre chant, chant contre face, ou autre) et des organes de fixation choisis, il est possible de définir une raideur d'assemblage pour une sollicitation axiale et/ou en cisaillement. Ces valeurs de raideurs sont à intégrer dans le modèle éléments finis, afin de mieux appréhender le comportement de la structure.

Figure 10 - Schéma avec deux voiles et un plancher avec articulations linéiques pour chaque jonction (raideur en bleu pour la jonction horizontale entre deux voiles, raideur en vert pour la jonction verticale entre deux voiles et raideur en rouge pour la jonction entre un voile et un plancher)

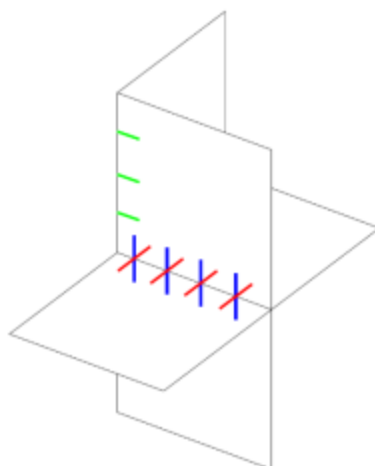


Tableau 9 : caractéristiques des sections standards de panneaux PFEIFER CLT pour le calcul aux éléments finis

PFEIFER CLT			Sollicitations dans le plan du panneau			Sollicitations perpendiculaires au panneau				
Epaisseur	Nombre	Composition	[KN/m]			[KN.m]			[KN/m]	
[mm]	de plis	[mm]	D ₁₁	D ₂₂	D ₃₃	D ₄₄	D ₅₅	D ₅₅	D ₆₆	D ₇₇
60	3s	20-20-20	440000	220000	14142	191	7	9	6006	13114
70	3s	20-30-20	440000	330000	17321	290	25	21	6111	18841
80	3s	30-20-30	660000	220000	17321	462	7	15	8904	13944
80	3s-V2	20-40-20	440000	440000	20000	411	59	39	6216	24568
90	3s	30-30-30	660000	330000	21213	644	25	32	9009	19671
100	3s	30-40-30	660000	440000	24495	858	59	56	9114	25398
100	3s-V2	40-20-40	880000	220000	20000	909	7	20	11802	14774
110	3s	40-30-40	880000	330000	24495	1195	25	43	11907	20501
120	3s	40-40-40	880000	440000	28284	1525	59	75	12012	26228
100	5s	20-20-20-20-20	660000	440000	24495	726	191	93	10416	6426
120	5s	30-20-20-20-30	880000	440000	28284	1393	191	129	13728	6636
130	5s	30-20-30-20-30	990000	440000	30000	1724	290	177	15384	6741
140	5s	40-20-20-20-40	1100000	440000	31623	2325	191	166	17040	6846
140	5s-V2	30-30-20-30-30	880000	660000	34641	2053	462	243	13968	9534
150	5s	40-20-30-20-40	1210000	440000	33166	2804	290	225	18696	6951
150	5s-V2	30-30-30-30-30	990000	660000	36742	2450	644	314	15624	9639
160	5s	40-20-40-20-40	1320000	440000	34641	3344	411	293	20352	7056
160	5s-V2	30-30-40-30-30	1100000	660000	38730	2897	858	394	17280	9744
170	5s	40-30-30-30-40	1210000	660000	40620	3860	644	394	18936	9849
180	5s	40-30-40-30-40	1320000	660000	42426	4488	858	491	20592	9954
190	5s	40-40-30-40-40	1210000	880000	46904	5092	1195	617	19176	12747
200	5s	40-40-40-40-40	1320000	880000	48990	5808	1525	744	20832	12852
180	7s	30-20-30-20-30-20-30	1320000	660000	42426	4224	1122	544	22308	11376
200	7s	20-40-20-40-20-40-20	880000	1320000	48990	3989	3344	913	15912	20832
220	7s	30-30-30-40-30-30-30	1320000	1100000	54772	6864	2897	1115	22828	18000
240	7s	30-40-30-40-30-40-30	1320000	1320000	60000	8184	4488	1515	23088	21312
260	7s	30-40-40-40-40-40-30	1540000	1320000	64807	10303	5808	1934	26676	21552
280	7s	40-40-40-40-40-40-40	1760000	1320000	69282	14315	5808	2280	30264	21792
180	7ss	30+30-20-20-20-30+30	1540000	440000	37417	5155	191	248	23664	7266
200	7ss	30+30-30-20-30-30+30	1540000	660000	45826	6871	462	445	23904	10164
200	7ss-V2	30+40-20-20-20-40+30	1760000	440000	40000	7143	191	292	26976	7476
220	7ss	30+30-30-40-30-30+30	1760000	660000	48990	8903	858	691	27216	10374
220	7ss-V2	40+40-20-20-20-40+40	1980000	440000	42426	9570	191	338	30288	7686
240	7ss	40+40-20-40-20-40+40	2200000	440000	44721	12261	411	561	33600	7896
260	7ss	40+40-30-40-30-40+40	2200000	660000	54772	15253	858	904	33840	10794
280	7ss	40+40-40-40-40-40+40	2200000	880000	63246	18597	1525	1332	34080	13692

d'autres compositions ou épaisseurs disponibles sur demande

- D_{11} : rigidité de traction suivant la direction x ; (N_x)
 D_{22} : rigidité de traction suivant la direction y ; (N_y)
 D_{33} : rigidité de cisaillement suivant la direction xy ; (N_{xy})
 D_{44} : rigidité de flexion suivant la direction x ; (M_x)
 D_{55} : rigidité de flexion suivant la direction y ; (M_y)
 D_{66} : rigidité de torsion suivant la direction xy ; (M_{xy})
 D_{77} : rigidité de cisaillement suivant la direction x ; (V_{xz})
 D_{88} : rigidité de cisaillement suivant la direction y ; (V_{yz})

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \\ M_x \\ M_y \\ M_{xy} \\ V_{xz} \\ V_{yz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & & & & & & & \\ \text{Sym} & D_{22} & & & & & & \\ & & D_{33} & & & & & \\ & & & D_{44} & & & & \\ & & & & D_{55} & & & \\ & & & & & D_{66} & & \\ & & & & & & D_{77} & \\ & & & & & & & D_{88} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_{mx} \\ \epsilon_{my} \\ \gamma_{mxy} \\ \epsilon_{fx} \\ \epsilon_{fy} \\ \gamma_{fxy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{Bmatrix}$$

matrice de rigidité des panneaux PFEIFER CLT comme élément orthotrope en plan + diaphragme

Le calepinage consiste à redécouper les panneaux, afin de s'adapter aux formats de fabrication (ou de transport), tout en conservant le sens porteur des panneaux CLT.

Format maximal de fabrication : 14,50x3,10m

Format de transport : on limite généralement la largeur des panneaux à 2,95m, afin de conserver un gabarit de transport inférieur à 3,0m

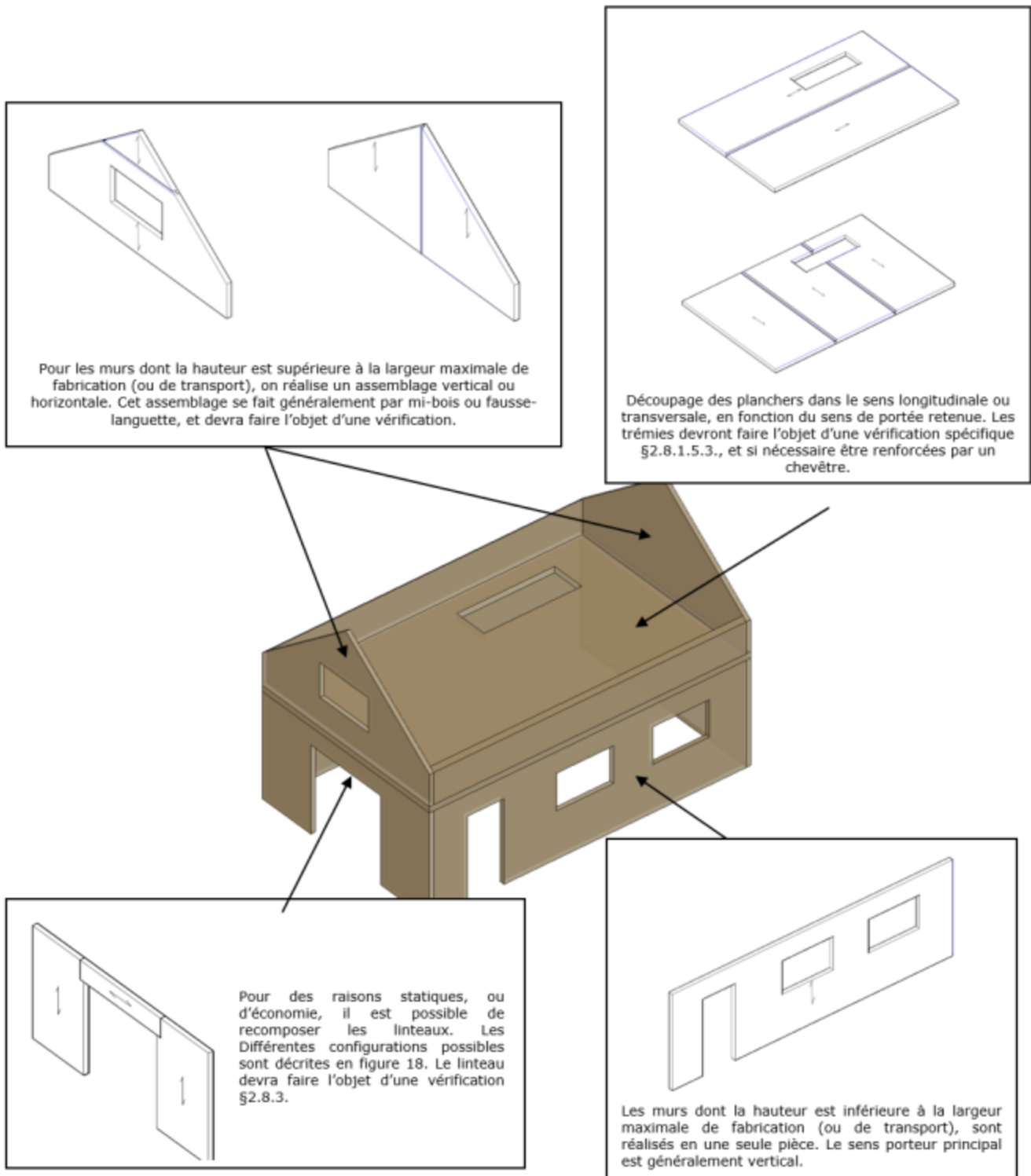
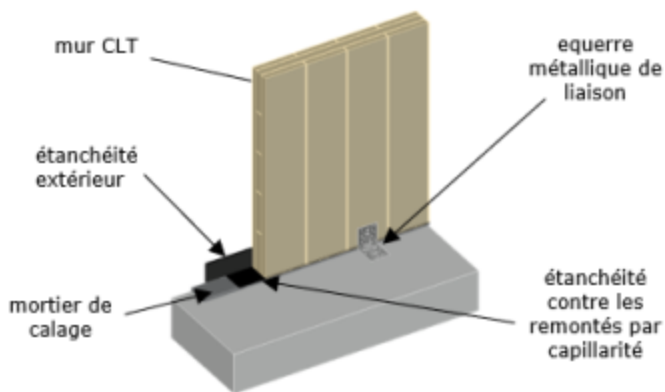


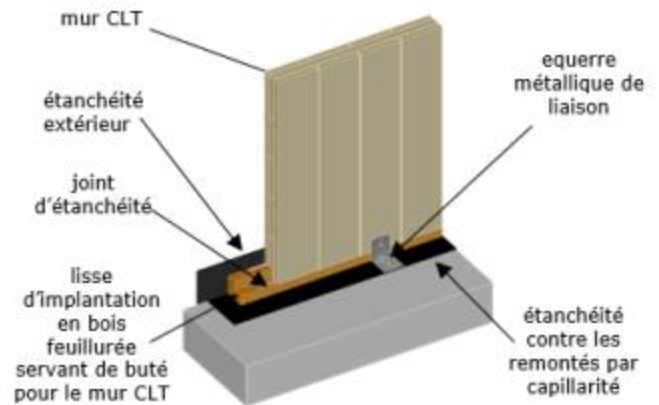
Figure 11 : exemple de calepinage à partir de panneaux PFEIFER CLT

Figure 12 : exemples de liaisons entre un panneau de mur CLT et une dalle béton

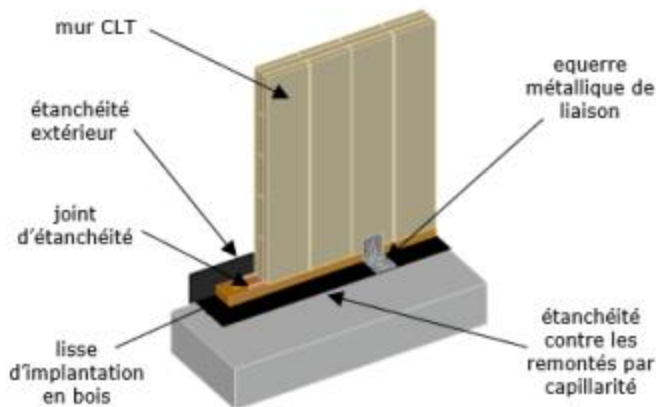
Détail 1 : fixation par équerre directement sur dalle béton



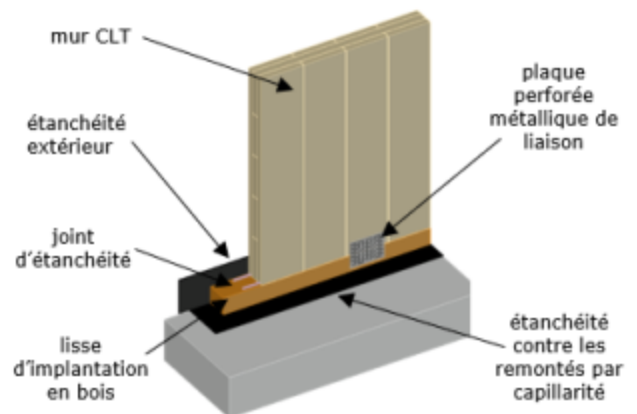
Détail 2 : fixation par équerre sur lisse d'implantation feuillurée



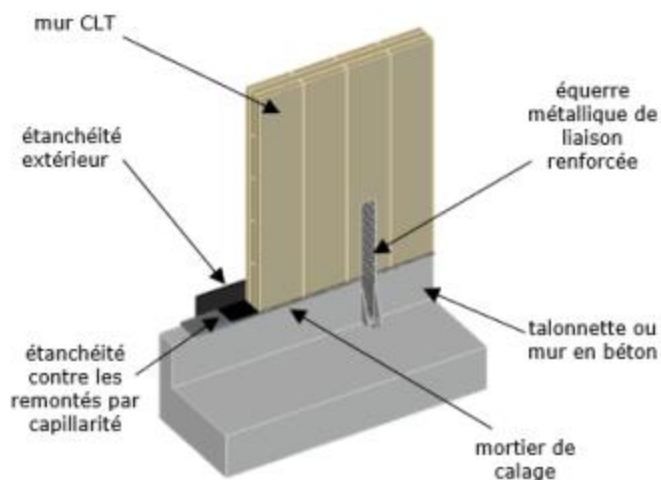
Détail 3 : fixation par équerre sur lisse d'implantation



Détail 4 : fixation par plaque perforée sur lisse d'implantation



Détail 5 : fixation par équerre haute sur talonnette béton

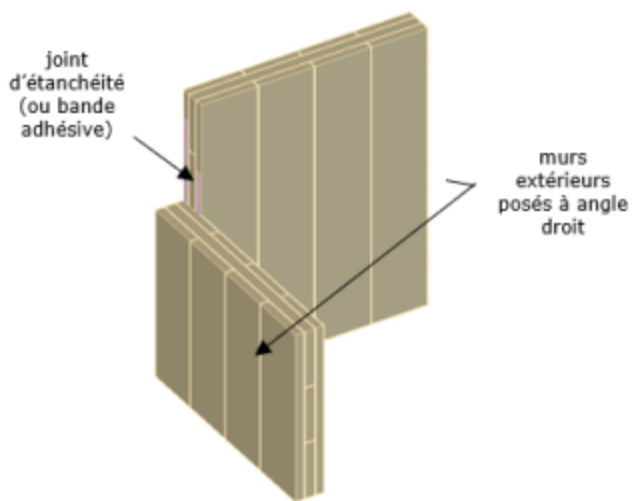


Remarques :

- les murs en bois doivent être protégés des remontés d'eau par capillarité. Cette étanchéité se place à l'interface entre la partie maçonnée et l'élément bois.
- les organes de fixation en pied de mur doivent faire l'objet d'une vérification statique

Figure 13: exemples de liaisons entre panneaux de murs CLT

Détail 1 : liaison entre murs extérieurs



Détail 2 : liaison entre un mur extérieur et un mur intérieur

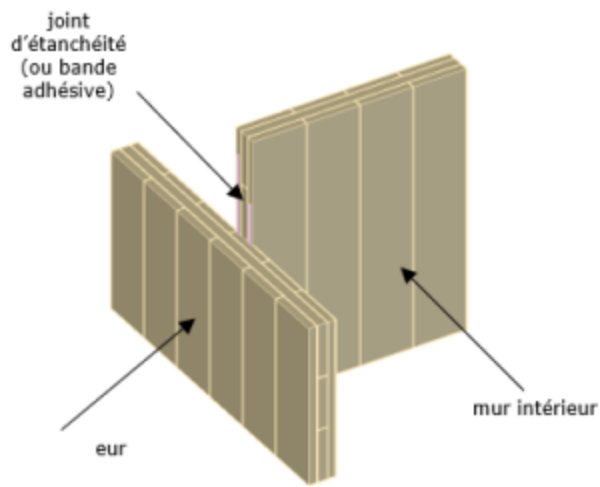


Figure 14: assemblage de panneaux muraux en angle

<p>Assemblage par vissage direct à chant :</p> <p>Cet assemblage est réalisé par vissage direct d'un panneau sur l'autre, la vis pénétrant le panneau cible à chant. Cela induit un possible vissage dans le bois de bout dans les plis transversaux, seules les vis bénéficiant d'un ETE visant la fixation en bois de bout sur panneaux CLT sont admises.</p>	
<p>Assemblage par vissage direct à chant :</p> <p>Cet assemblage est réalisé lorsque le vissage à 90° n'est pas possible, ou lorsqu'une augmentation de résistance de l'assemblage est recherchée. Du fait de la multiplicité des plis traversés, et de l'angle de vissage particulier, seules les vis bénéficiant d'un ETE visant la fixation en bois de bout sur panneaux CLT sont admises.</p>	

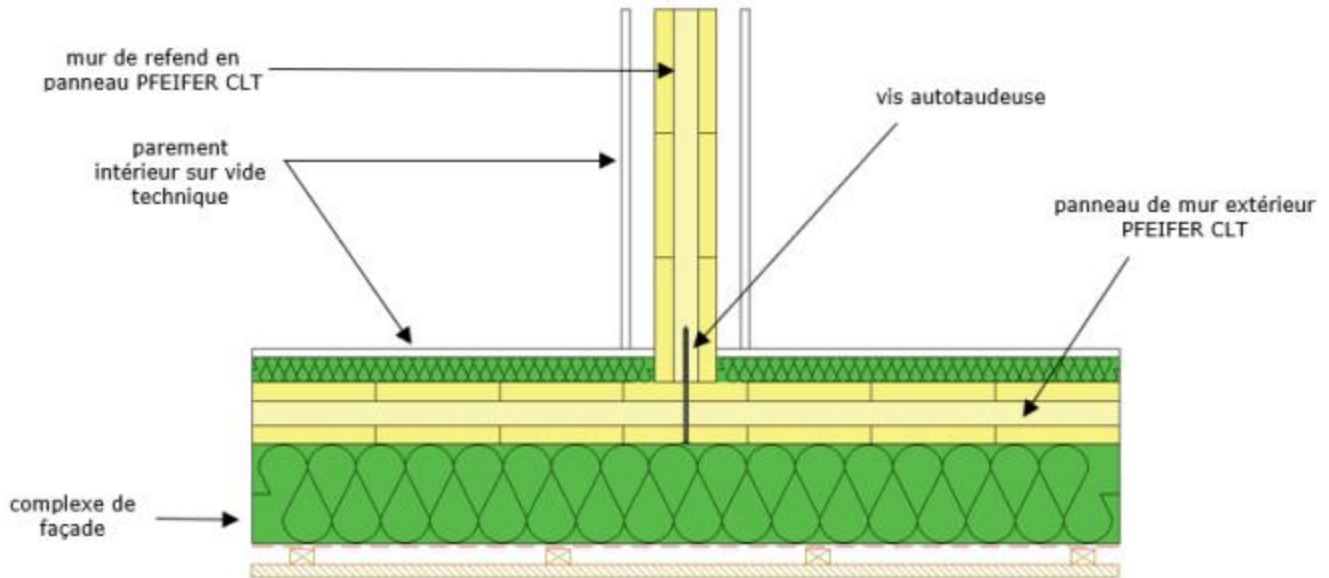
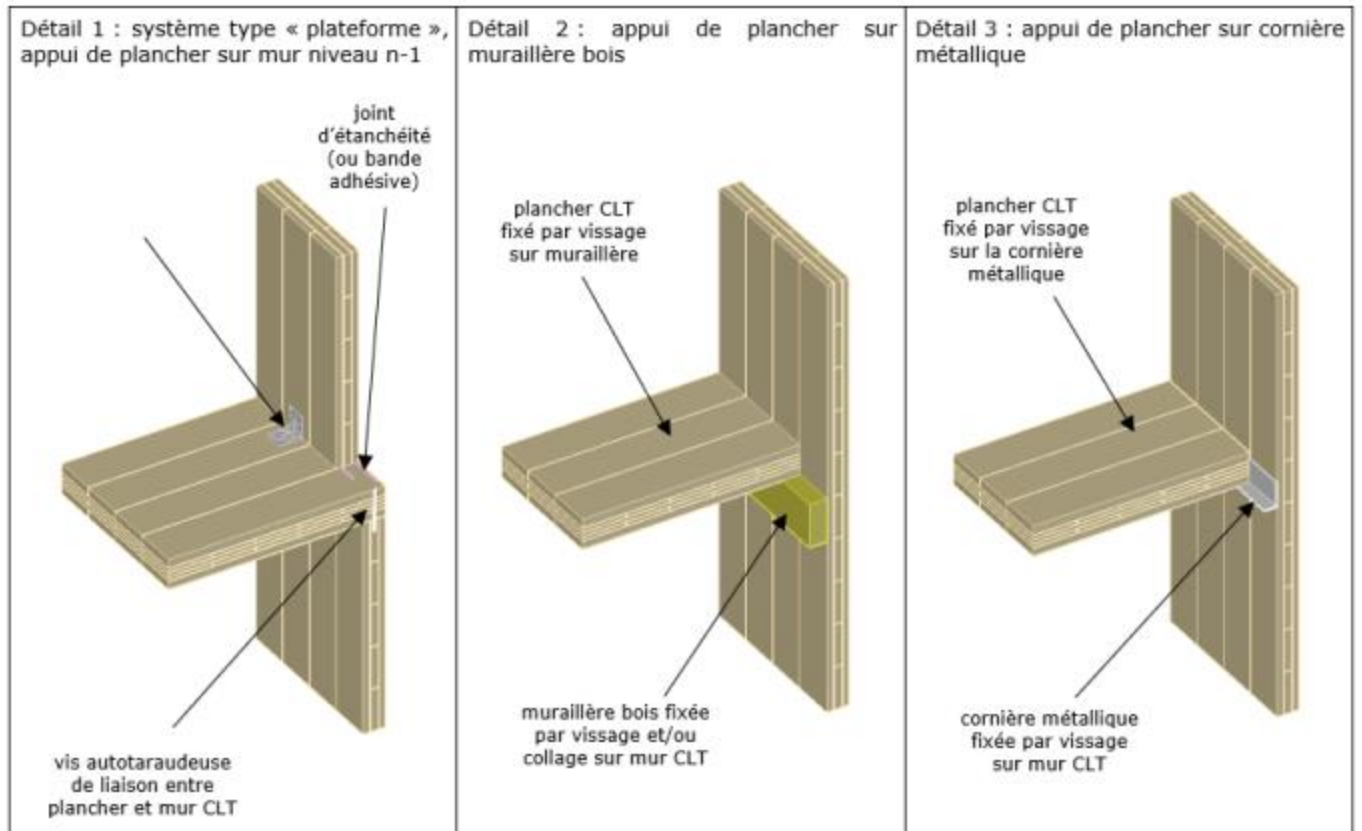
Figure 15: exemples de liaisons entre un mur extérieur et refend intérieur (vue en plan)**Figure 16: exemples de liaisons entre panneau de mur et plancher intermédiaire CLT**

Figure 17: exemple de liaison entre mur extérieur et plancher intermédiaire (vue en coupe)

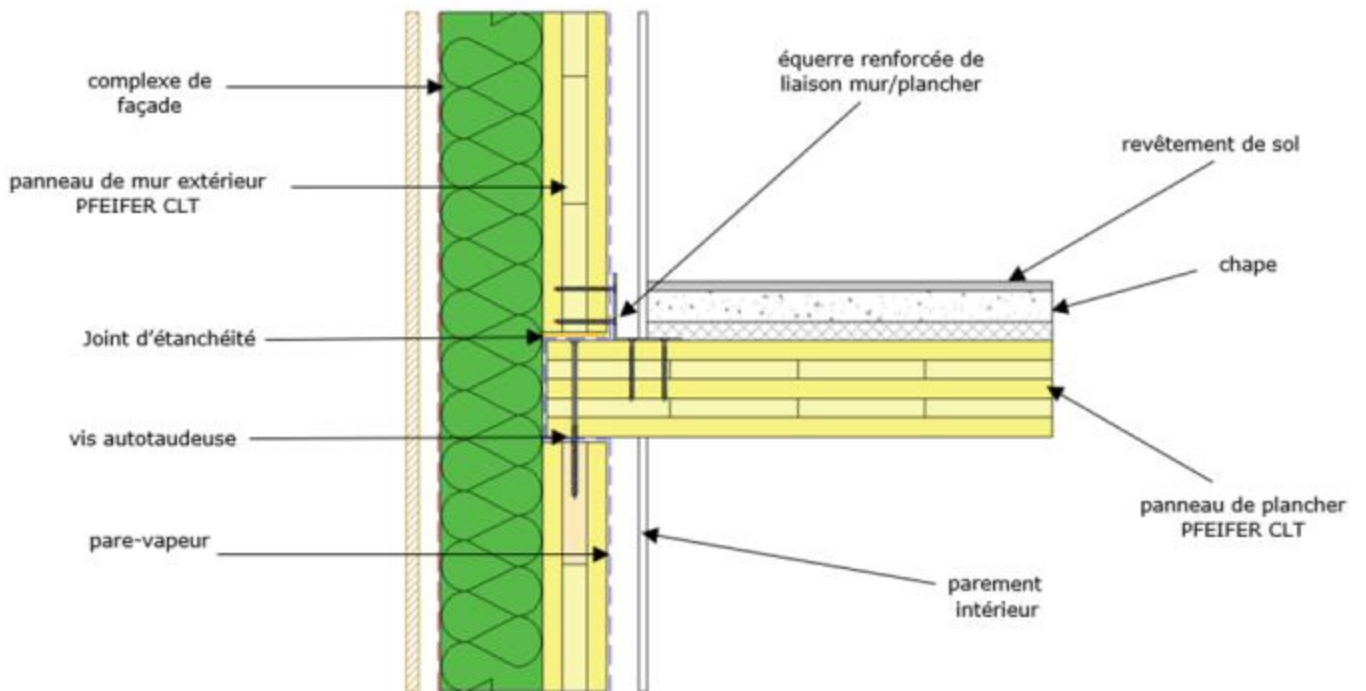
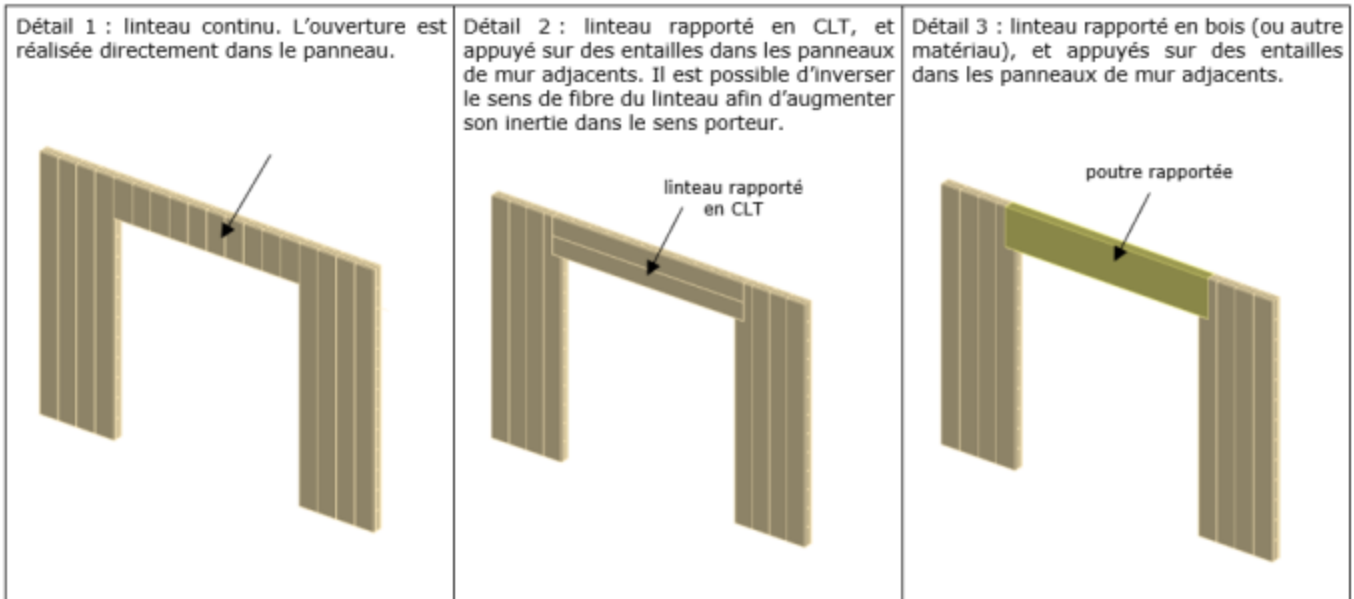
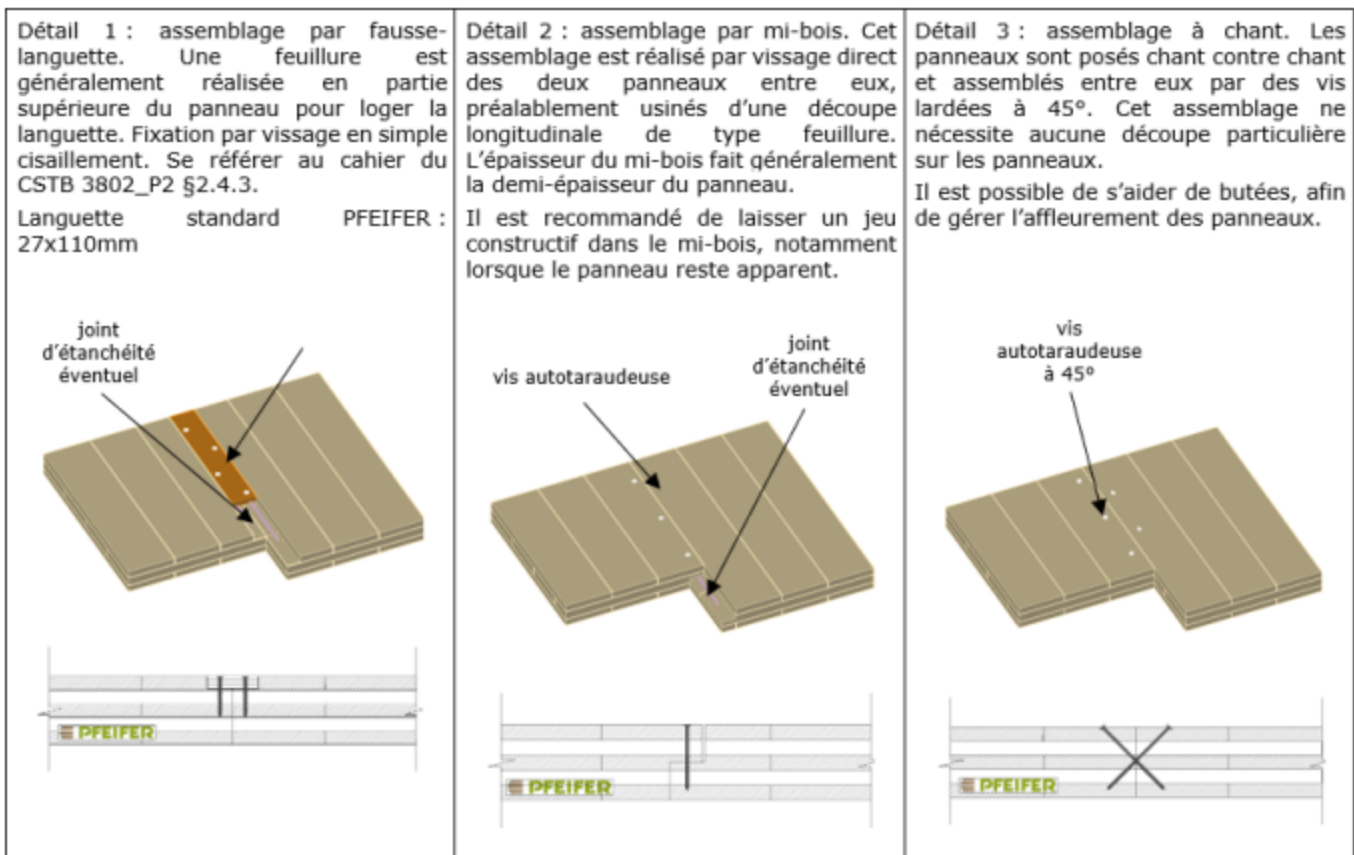


Figure 18: exemples de linteaux

Remarque : pour les vérifications et le dimensionnement des linteaux, se reporter au §2.8.3.

Figure 19: exemples d'assemblages entre dalles de plancher

Remarque : les mêmes assemblages sont valables pour la liaison entre éléments de mur recomposés. Par exemple dès que la hauteur du mur dépasse 3,10m (ou 2,95m pour des raisons de transport) et qu'un assemblage sur chantier est nécessaire.

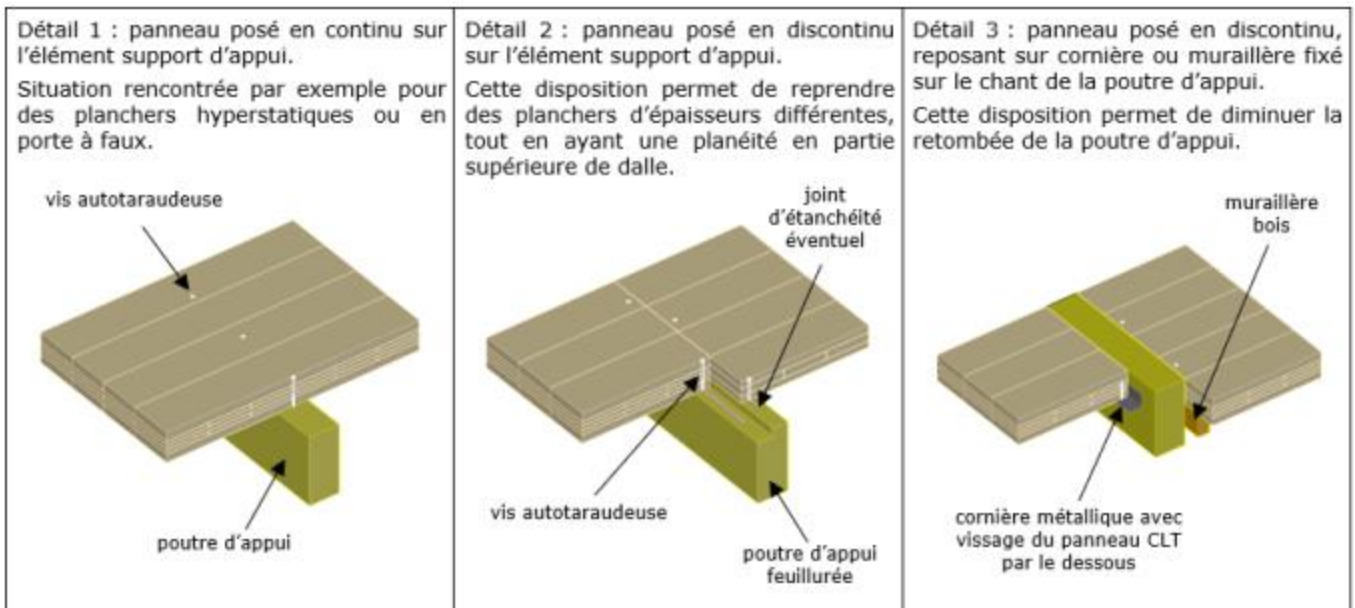
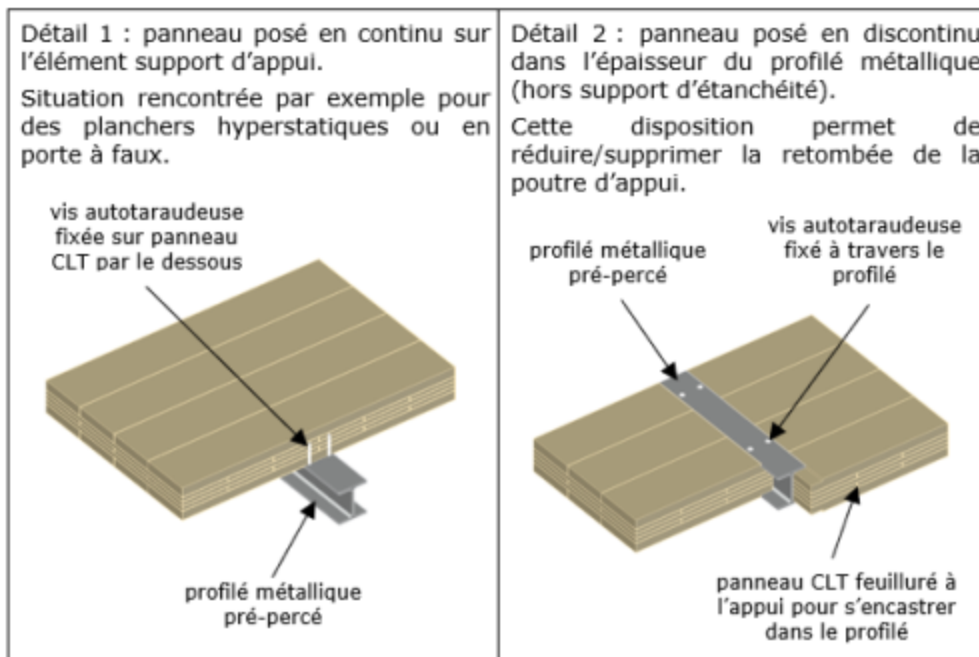
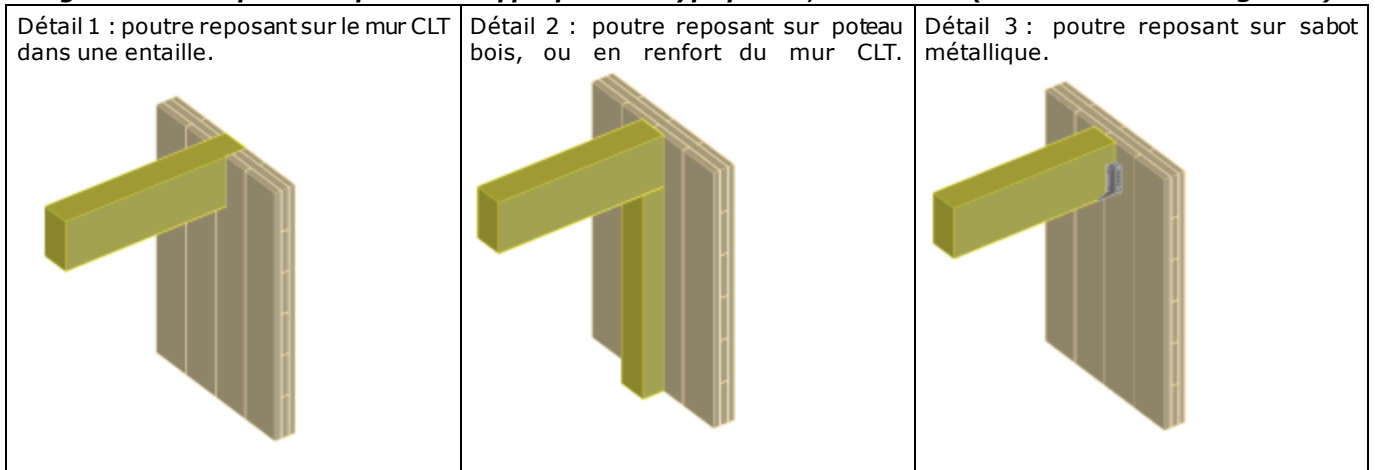
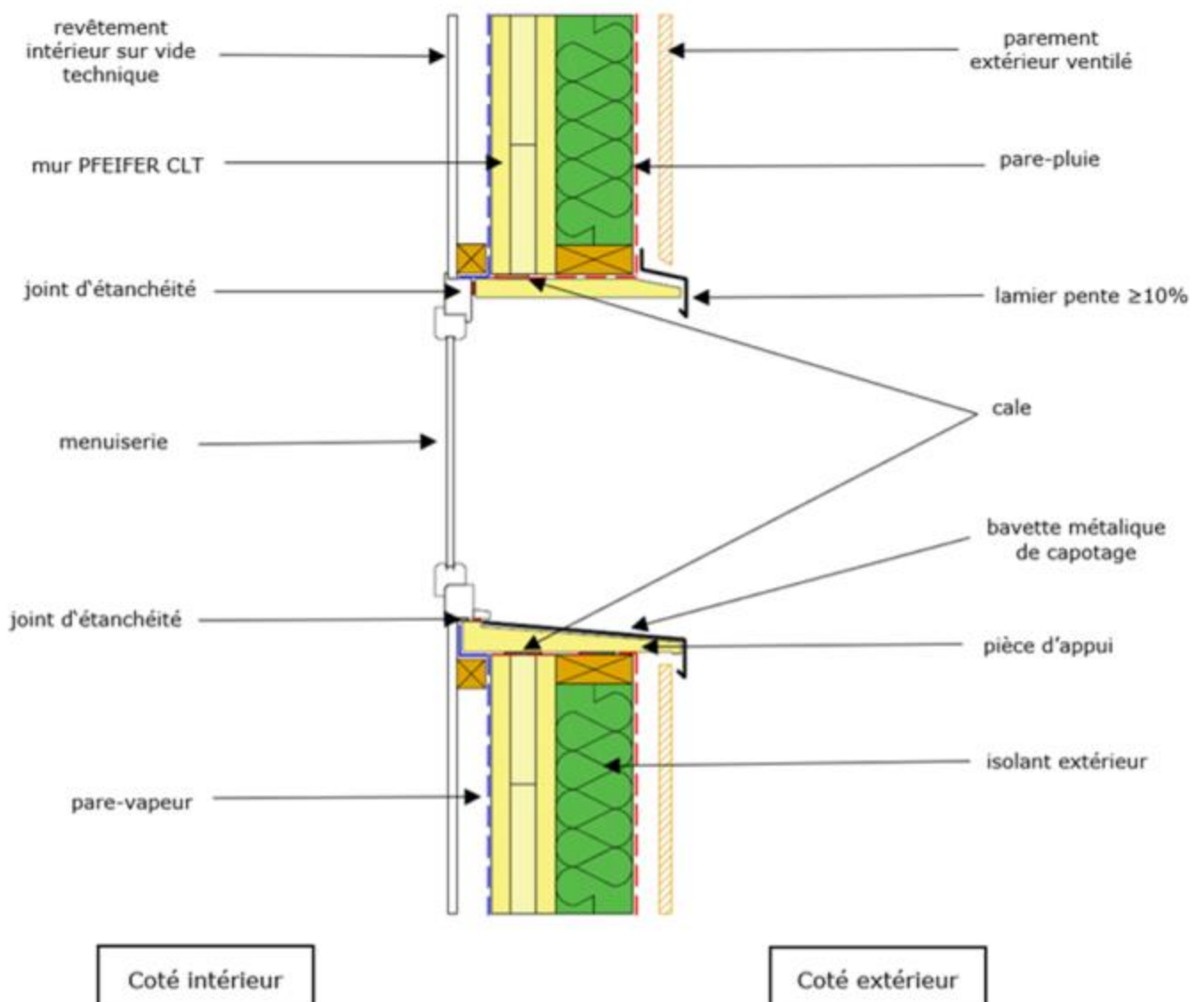
Figure 20: exemples d'appuis de panneau sur support intermédiaire (poutre bois)**Figure 21: exemples d'appuis de panneau sur support intermédiaire (profilé métallique)**

Figure 22: exemples de reprise d'un appui ponctuel type poutre, sur mur CLT (vérifications suivant §2.8.3.)**Figure 23: exemple d'intégration de menuiserie extérieure**

Les menuiseries et leur mise en œuvre s'appuie sur les prescriptions de la NF DTU 31.2 P1-1 § 9 et de la NF DTU 36.5. Leur mise en œuvre peut se faire en applique au nu intérieur, en tunnel ou au nu extérieur, et doit permettre :

- D'empêcher l'introduction des eaux de ruissellement dans la paroi et d'assurer le rejet de celles-ci devant le revêtement extérieur par l'intermédiaire des tableaux et des appuis de baie ou des seuils de porte et des portes-fenêtres ;

- D'assurer le calfeutrement continu (destiné à assurer l'étanchéité à l'air et à l'eau de la liaison baie -menuiserie) à la périphérie de la baie conformément aux prescriptions de la NF DTU 36.5.

La mise en œuvre est à détailler (par le biais de coupes verticales et horizontales) en prenant soin de préciser les détails des couvertines, des bavettes et en cas de bardage, de la circulation de l'aération de la lame d'air sous le parement extérieur.

La mise en œuvre des menuiseries sur murs PFEIFER CLT se fait suivant les dispositions du DTU 36.5. Voici les étapes permettant de garantir la performance et la durabilité de l'assemblage, et de la mise en œuvre.

1. Préparation du support

- **Contrôle du mur en CLT** : Vérifier la planéité, la verticalité et la propreté du support. Le mur en CLT doit être exempt de toute irrégularité ou résidu pouvant gêner l'assemblage des menuiseries.
- **Préparation des réservations** : Selon les dimensions des menuiseries, vérifier la dimension des réservations réalisées en usine dans les panneaux CLT, pour permettre une fixation correcte et un bon alignement des menuiseries.

2. Choix des dispositifs de fixation

- **Fixation sur le CLT** : Les menuiseries doivent être fixées solidement au mur en CLT. Pour cela, on utilise généralement des équerres métalliques, des vis ou des ancrages adaptés pour le bois massif.
- **Respect des distances de fixation** : Il est essentiel de respecter les caractéristiques et les entraxes recommandés pour les vis et fixations, afin d'éviter toute déformation du matériau ou du cadre de la menuiserie.

3. Étanchéité et isolation

- **Joint d'étanchéité** : Utiliser des joints périphériques adaptés entre le cadre de la menuiserie et le mur en CLT, afin d'assurer une parfaite étanchéité à l'air et à l'eau.
- **Isolation thermique** : Il est recommandé d'ajouter un isolant périphérique, afin d'éviter les ponts thermiques et garantir une bonne performance énergétique.

4. Contrôle de l'inclinaison et de l'alignement

- **Vérification du niveau** : Avant de fixer définitivement les menuiseries, il est crucial de vérifier leur niveau, leur verticalité et leur alignement, à la fois en hauteur et en largeur, en utilisant un niveau à bulle et une règle de maçon.
- **Réglage des ouvrants** : Les ouvrants (fenêtres ou portes) doivent être installés de manière à assurer un bon fonctionnement sans frottement excessif.

5. Fixation définitive

- Une fois la menuiserie bien positionnée et réglée, procéder à la fixation définitive.
- **Pose du pare-vapeur** : il faudra veiller à soigner la jonction entre pare-vapeur et la menuiserie, afin de garantir une bonne étanchéité à l'air.

6. Vérification finale

- **Contrôle de l'étanchéité** : Vérifier que tous les joints d'étanchéité sont correctement positionnés et non comprimés.
- **Essai de fonctionnement** : Tester les ouvrants pour s'assurer qu'ils s'ouvrent et se ferment correctement sans difficulté.
- **Finition esthétique** : Ajouter les éléments de finition autour de la menuiserie, comme les caches-vis, les habillages en bois ou les profilés métalliques.

7. Respect des normes

- **DTU 36.5** : S'assurer que la mise en œuvre des menuiseries respecte les exigences du DTU 36.5 en termes de sécurité, d'étanchéité à l'air et à l'eau, ainsi que de performance thermique et acoustique.
- **Consignes du fabricant** : Suivre scrupuleusement les instructions du fabricant des menuiseries, en particulier concernant les fixations et les méthodes de pose.

Remarque : le CLT étant un matériau bois, il faut être attentif aux déformations possibles dues à l'humidité et aux variations de température. La méthode de fixation doit éviter toute compression excessive du matériau, et les joints doivent permettre un léger mouvement pour éviter les fissures ou déformations.

Tableau 10 : Fiche d'autocontrôle avant mise en œuvre des revêtements « Bon à fermer »

Bon à Fermer – Fiche d'autocontrôle avant mise en œuvre des revêtements	
L'émission d'un bon à fermer signifie que pour les zones concernées par le bon, l'humidité du bois est comprise dans une plage permettant de débiter les travaux de second œuvre sans qu'il n'y ait un risque de confinement d'une humidité excessive et l'état de surface des éléments formant support satisfait aux tolérances attendues.	
Informations Générales du Chantier	
Coordonnées : (nom, adresse)	..... ..... .....
Donneur d'ordre :	..... .....
Maître d'œuvre :	..... ..... .....
Autres informations :	..... ..... .....
Zone(s) concernée(s)	
Etage :	..... ..... .....
Partie concernée :	Structure / Mur / Plancher / Autre (préciser) :
Contrôle dimensionnel	
Date et heure du contrôle :	..... ..... .....
Contrôle effectué par : (Nom, Prénom, Société)	..... ..... ..... ..... ..... .....

Planéité et désaffleurement :	..... ..... ..... .....
Largeur des joints entre panneaux :	..... ..... ..... .....
Continuité au droit des appuis :	..... ..... ..... .....
Rappel de l'intervalle acceptable : <ul style="list-style-type: none"> • Planéité et désaffleurement : imposés par le référentiel de la chape ou du revêtement de sol ou, à défaut, ceux du DTU 51.3. En cas de reprise de désaffleurement, un ponçage 5 mm au plus pourra être réalisé à l'aide d'une ponceuse par le charpentier. • (Rappeler les valeurs exactes de l'ouvrage concerné) • Largeur des joints entre panneaux : la vérification de la largeur de joint devra être réalisée et consignée par le charpentier avant la mise en place des bandes adhésives. Si l'ouverture du joint entre panneaux est inférieure à 2 mm, il n'est pas nécessaire de traiter les joints. Lorsque l'ouverture des joints est supérieure à 2 mm sans dépasser 10 mm, ceux-ci doivent être remplis de mastics souples compatibles avec les éléments bois et doivent être affleurés. La mise en œuvre de ce mastic sera réalisée par le charpentier ; • Continuité au droit des appuis : la rotation sur appui induit une ouverture entre <u>deux panneaux inférieure</u> à 2 mm. Lorsqu'elle est nécessaire pour le revêtement de sol, la continuité peut être réalisée par la mise en place d'une jonction par languette si le panneau CLT support n'est pas continu sur appuis. 	
Conformité :	..... ..... ..... ..... ..... .....
Rappel de l'intervalle acceptable : Les résultats obtenus devront être de 15±3% si la structure a été dimensionnée en classe de service 2 et de 12±2% si la structure a été dimensionnée en classe de service 1. (Rappeler les valeurs exactes de l'ouvrage concerné)	

Contrôle de l'Humidité	
Date et heure du contrôle :	..... ..... .....
Contrôle effectué par : (Nom, Prénom, Société)	..... ..... ..... ..... .....
Nombre de points de contrôle :	..... ..... .....
Emplacement des points de contrôle : (joindre plan annoté)	..... ..... ..... ..... ..... ..... .....
Valeurs obtenues (en %) :	..... ..... .....
Conformité :	..... ..... ..... ..... .....
Fait à Le Nom prénom responsable Signature du responsable + cachet entreprise (précédés de la mention « Bon pour fermeture »)	

3. Annexe utilisation en support d'étanchéité

3.1. Généralités

Le procédé « PFEIFER CLT » est utilisé comme support ou élément porteur des toitures étanchées selon le Cahier du CSTB 3814, complété par les prescriptions de la présente Annexe.

3.2. Destination d'emploi

Les panneaux PFEIFER CLT, de classe d'emploi 2 selon la norme NF EN 335, sont destinés aux toitures :

- Inaccessibles avec chemins de circulation éventuels (pente $\leq 50\%$), sans rétention temporaire des eaux pluviales ;
- Inaccessibles avec procédés d'étanchéité photovoltaïque avec modules souples bénéficiant d'un Avis Technique (pente $\leq 50\%$) ;
- Inaccessibles avec procédés de végétalisation (pente $\leq 20\%$ et $\geq 3\%$) bénéficiant d'un Avis Technique ;
- Techniques ou à zones techniques, sans chemins de roulement des appareils d'entretien de façades (pente $\leq 7\%$ en systèmes apparents et $\leq 5\%$ sous protection lourde) ;
- Accessibles aux piétons et au séjour avec une protection par dalles sur plots ou platelage bois selon les prescriptions spécifiques du paragraphe 3.8. Les toitures accessibles aux piétons et au séjour associées à une protection par dalles sur plots (pente $\leq 5\%$) sont uniquement visées sur les configurations de toitures chaudes isolées (hors isolation inversée).

Les bâtiments sont :

- Soit avec locaux sous-jacents non chauffés ouverts sur l'extérieur, en association avec une toiture froide non isolée et une étanchéité sous protection lourde (hors terrasses accessibles aux piétons) ;
- Soit avec locaux sous-jacents chauffés, 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 panneaux structuraux PFEIFER CLT peuvent être utilisés pour des toitures en climat de plaine (altitude $\leq 900m$).

Les pentes des toitures inaccessibles, végétalisées, techniques et accessibles aux piétons sont dépendantes du critère de dimensionnement choisi :

- $\geq 3\%$, lorsque les panneaux structuraux PFEIFER CLT 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 structuraux PFEIFER CLT sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges limitées au $1/400^e$ de la portée ; hors terrasses et toitures végétalisées ;
- $\geq 1,6\%$, lorsque les panneaux structuraux PFEIFER CLT sont dimensionnés en tenant compte d'un fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges limitées au $1/500^e$ de la portée ; hors terrasses et toitures végétalisées ;

Les panneaux structuraux PFEIFER CLT peuvent recevoir :

- Des systèmes adhérents, semi-indépendants ou indépendants faisant l'objet d'un DTA ou Avis Technique validé en GS 5.2 pour l'emploi sur éléments porteurs bois CLT ;
- Une isolation thermique en panneau isolant support d'étanchéité :
 - Faisant l'objet d'un Document Technique d'Application particulier visant la pose sur éléments porteurs bois, sous revêtement d'étanchéité apparent et dans le cas de procédés d'isolation mixte,
 - Conformes aux Règles Professionnelles « Isolants supports d'étanchéité en indépendance sous protection lourde » de juillet 2024 et certifiés ACERMI pour les spécifications prévues par les règles, pour l'emploi sur éléments porteurs CLT, sous revêtement d'étanchéité sous protection lourde,
- Un procédé d'isolation inversée conforme aux Règles professionnelles « Isolation inversée de toiture-terrasse » de Juin 2021 et certifié ACERMI pour les spécifications prévues par les règles, apte pour l'emploi sur éléments porteurs bois CLT, uniquement en terrasse inaccessible ;
- Une protection lourde conforme au NF DTU 43.1 ou définie dans le DTA du revêtement d'étanchéité ou dans les Règles Professionnelles « Isolation inversée de toiture-terrasse » de Juin 2021 ou définie dans un AT pour les procédés de végétalisation, correspondant à la destination des toitures définies dans le présent paragraphe.

La conception est réalisée soit en toiture chaude, soit en toiture froide (ventilée non isolée uniquement en bâtiment ouvert).

La résistance thermique de l'isolation rapportée par l'extérieur doit être supérieure ou égale :

- à deux fois (règle des $2/3 - 1/3$) en climat de plaine ;
- à trois fois (règle des $3/4 - 1/4$) en zone très froide ;

La résistance thermique du panneau PFEIFER CLT utilisé est calculée en considérant un $\lambda = 0,13 W/m.K$.

3.3. Dimensionnement du complexe d'étanchéité

Les systèmes d'étanchéité sont dimensionnés conformément aux Avis Techniques des procédés mentionnés au paragraphe 3.2. en considérant le panneau PFEIFER CLT comme étant un support en bois massif de même épaisseur.

3.3.1. Dimensionnement spécifique du panneau PFEIFER CLT dans le cas des toitures terrasses végétalisées

Les dispositions des paragraphes § 3.6 et § 7.5 du Cahier du CSTB 3814, du Document Technique d'Application particulier des revêtements d'étanchéité et de l'Avis Technique du procédé de végétalisation s'appliquent.

Les charges de Capacité Maximale en Eau (C.M.E.) du système de végétalisation devront être prises en compte. Ces charges sont indiquées dans l'Avis Technique du procédé de végétalisation.

En référence aux « Règles professionnelles pour la conception et la réalisation des terrasses et toitures végétalisées » et 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 PFEIFER, puisque le fluage est pris en compte dans leur dimensionnement.

3.4. Organisation de la mise en œuvre

3.4.1. Protection contre les intempéries

Lors de la mise en œuvre, les panneaux PFEIFER CLT doivent être protégés vis-à-vis des intempéries, selon le Cahier du CSTB 3814, afin de limiter le risque d'humidification des panneaux contre les eaux de pluie, d'éviter toute stagnation d'eau liquide ainsi que tout confinement d'humidité.

3.4.2. Organisation de mise en œuvre

3.4.2.1. Lot Structure (ou Charpente, ou Gros-œuvre)

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 panneaux structuraux PFEIFER CLT
- L'exécution des points singuliers nécessaires au système d'étanchéité, reliefs - acrotères - costières - joint de dilatation par exemple ;
- La réalisation, dans les panneaux PFEIFER CLT, des réservations nécessaires au système d'étanchéité, comme les :
 - lanterneaux ou bandes éclairantes ou voûtes d'éclairage,
 - sorties de crosse,
 - pénétrations diverses et variées,
 - entrées d'eaux pluviales (EEP),
 - etc...

Afin de respecter les conditions de service des panneaux PFEIFER CLT, leur humidité, mesurée à 40 mm de profondeur (pour panneaux d'épaisseur inférieure à 80 mm, la mesure est prise à mi-épaisseur), ne doit pas être supérieure à 18 % au moment de la mise en œuvre du complexe d'étanchéité, mesurable avec un humidimètre selon la norme NF EN 13183-2 : 2002.

Il incombe au lot Charpente/Structure que l'humidité doit respecter les conditions suivantes :

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 ou du bas de versant et 1 tous les 5 m environ en partie courante (soit une douzaine de mesures individuelles pour cette zone) :

- Si, sur cette zone, l'humidité moyenne est < à 18 % avec au plus une valeur individuelle entre 18 et 25%, le support est admissible d'un point de vue de l'humidité ;
- Si, sur cette zone, l'humidité moyenne est < à 18 % mais qu'au moins deux valeurs individuelles sont comprises entre 18 et 25 %, il est nécessaire de protéger de l'eau et de ventiler les panneaux structuraux ;
- Si, au moins une valeur individuelle est > à 25%, il est nécessaire de remplacer le/les panneaux structuraux concernés et de refaire les mesures ;
- Si, sur cette zone, l'humidité moyenne est > à 18 % mais que toutes les valeurs individuelles sont < à 25%, il est nécessaire de protéger de l'eau et de ventiler les panneaux structuraux ;
- 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, référence du panneau structural, date, référence de l'instrument de mesure utilisé, essence des panneaux livrés, température sélectionnée et profondeur de pénétration.

Le support constitué par le charpentier doit faire l'objet d'une acceptation contradictoire avec l'étancheur, conformément au paragraphe 8.3 du CPT « Support d'étanchéité bois » (Cahier du CSTB 3814 – Novembre 2019) portant notamment 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 ;
- Ouverture entre panneaux CLT < 10 mm
- Respect de la pente prescrite par le présent DTA ;

- Contrôle de la siccité du support selon le présent DTA.

La société Pfeifer fournit une assistance technique sur demande.

3.4.2.2. Lot Étanchéité

Le lot Étanchéité :

- Assure la mise en œuvre du système d'étanchéité, pare-vapeur et support isolant éventuel, revêtement d'étanchéité, protection éventuelle (incluant la protection végétalisée), au-dessus du support en panneaux structuraux PFEIFER CLT ;
- Vérifie les réservations nécessaires au système d'étanchéité prévues par le maître d'œuvre.

L'assistance technique s'effectue conformément aux dispositions indiquées dans le Document Technique d'Application des panneaux isolants et du revêtement d'étanchéité, de l'Avis Technique du procédé de végétalisation et des Règles Professionnelles visant les différents éléments du complexe d'étanchéité.

3.5. Dispositions constructives relatives au support

3.5.1. Perçages et réservations

Les percements et réservations dans les panneaux PFEIFER CLT sont à la charge du charpentier. Ils sont réalisés à la fabrication des panneaux ou sur site par le lot Structure.

L'implantation des dispositifs d'évacuation des eaux pluviales doit être faite conformément à l'annexe D du Cahier du CSTB 3814.

3.5.2. Configurations de pose des panneaux

Les panneaux PFEIFER CLT peuvent être mis en œuvre suivant deux configurations :

- Pose dite « chevron » (se reporter figure A.14a):
 - le pli extérieur du panneau est dans le sens du rampant,
 - les appuis sont alors traditionnellement le faitage, la sablière et éventuellement des pannes ou murs de refend intermédiaires ;
- Pose dite « lambourde », à dévers (se reporter figure A.14b):
 - le pli extérieur du panneau est parallèle à la ligne de faitage,
 - les appuis sont alors les murs ou structures en pignon et éventuellement des murs de refend intermédiaires ;

Dans tous les cas, des dispositions constructives sont prises afin que tous les panneaux partageant une rive commune soient assemblés : feuillure et couvre joint suivant indications du paragraphe 3.5.3 ci-après.

3.5.3. Assemblage des panneaux PFEIFER CLT entre eux

Les assemblages entre panneaux adjacents d'un même plan de toiture sont réalisés suivant trois configurations possibles :

- Par « fausse languette » (se reporter figure A.6a) :
 - une feuillure est usinée sur chacun des panneaux (usuellement sur la face supérieure)
 - une bande de liaison (fausse languette) en bois ou panneaux à base de bois de dimensions égales à celle de la feuillure est insérée et fixée par vissage
- A « mi-bois » (se reporter figure A.6b) :
 - chacun de panneaux est usiné à mi-bois de sorte que les deux panneaux s'emboitent l'un sur l'autre
 - les panneaux sont fixés l'un à l'autre par vissage
- « Chant contre chant » (se reporter figure A.6c) :
 - assemblage par vis à double filetage lardée à 45° ou vis à filetage total

Ce type de liaison entre panneaux permet d'assurer la planéité adéquate à la mise en œuvre du complexe d'étanchéité et notamment un désaffleurement compatible avec les procédés d'étanchéité.

3.6. Conditions de mise en œuvre

3.6.1. Vérification en phase définitive des éléments utilisés en support d'étanchéité

Les flèches sont calculées en tenant compte du fluage au travers du facteur de déformation k_{der} (valeur) défini dans la norme NF EN 1995-1-1 :2005. Elles sont limitées aux valeurs données au § 3.2. Les toitures doivent présenter des pentes sur plan selon le § 3.2.

3.6.2. Résistance au vent des toitures

L'élément porteur est dimensionné selon son Document Technique d'Application en tenant compte de l'effort de vent agissant sur la toiture, calculé selon l'Eurocode 1 partie 1-4 (NF EN 1991-1-4 d'octobre 2010) et son annexe nationale NF EN 1991-1-4/NA de septembre 2012 (vent caractéristique calculé pour une période de retour de 50 ans).

Pour la tenue au vent le complexe d'étanchéité est dimensionné selon les prescriptions à cet égard spécifiées dans son Document Technique d'Application.

Dans le cas de revêtements d'étanchéité ou d'isolants, fixés mécaniquement, la résistance caractéristique des éventuels attelages de fixation mécanique de l'isolation support et/ou du revêtement d'étanchéité reste égale à celle obtenue selon la norme NF P 30-313 (PK) dans du bois massif de même épaisseur, annoncée dans les fiches techniques des fixations et visées par leur Document Technique d'application.

3.6.3. Attelages de fixation mécanique du complexe 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. Les attelages conformes à la norme NF P 30-317 conviennent.

Résistance à l'arrachement

Pour le calcul des densités de fixations des supports isolants ou des revêtements d'étanchéité, la résistance caractéristique à l'arrachement à prendre en compte est celle de la fixation dans du bois massif conforme à la NF P 30-313 définie dans la fiche technique de la fixation, à épaisseur égale.

3.6.4. Implantation des zones techniques

Les Documents Particuliers du Marché (DPM) précisent, lorsqu'il y 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.

Équipement technique

Les dispositions du paragraphe § 7.7 du Cahier du CSTB 3814 s'appliquent. Les équipements techniques pourront être :

- soit raccordés à la charpente selon le DTU 43.4 ;
- soit positionnés sur des massifs béton en respectant les préconisations du § 7.7 cité ci-dessus.

Il sera notamment important de s'assurer que les choix du revêtement d'étanchéité et de l'isolant sont adaptés à la pression exercée par l'équipement technique avec plus petite dimension d'appui de 40 cm au moins.

3.6.5. Evacuation des eaux pluviales

L'implantation des dispositifs d'évacuation d'eaux pluviales, et lorsque prescrit, la vérification nécessaire des panneaux PFEIFER CLT sous le phénomène d'accumulation d'eau, est conçue et réalisée conformément à l'annexe D du Cahier du CSTB n°3814. Les noues à pente nulle sont possibles dans le cas de panneaux PFEIFER CLT posés perpendiculairement (ou de biais) à la noue. Si les panneaux sont parallèles à la noue, la noue doit avoir une pente \geq à 1,5%.

3.7. Prescriptions concernant les toitures inaccessibles, techniques et végétalisées

3.7.1. Conditions nécessaires à l'exécution des travaux d'étanchéité

Les règles propres aux travaux d'étanchéité, éléments porteurs - panneaux isolants éventuels - revêtements d'étanchéité, non modifiées par le présent Annexe A sont applicables, notamment :

- Le Cahier du CSTB 3814 ;
- La norme NF DTU 43.5, pour les travaux de réfections du système d'étanchéité sur panneaux structuraux PFEIFER CLT existants ;
- Les DTA de procédé d'étanchéité de toitures ;
- Les Avis Techniques de procédé de végétalisation de toitures.

Les tableaux A.1 à A.4 résumant les conditions d'utilisation du procédé PFEIFER CLT. Leur emploi doit prendre en compte les règles propres aux panneaux supports isolants (ou isolants inversés), aux revêtements d'étanchéité, et aux protections rapportées (incluant la protection végétalisée) éventuelles.

3.7.2. Toitures chaudes

La constitution de la toiture est la suivante, de bas en haut :

- Parement plafond rapporté ou non en sous face du panneau non isolé ;
- Panneau PFEIFER CLT
- Pare-vapeur ;
- Isolant ;
- Revêtement d'étanchéité ;
- Protection éventuelle.

Les panneaux PFEIFER CLT peuvent être laissés nus côté intérieur et faire office de plafond dans les ERP, les bâtiments d'habitation et les locaux régis par le code du travail (cf. § 1.2.2.1 Sécurité en cas d'incendie et 2.12).

3.7.2.1. Pare-vapeur

Le pare-vapeur est mis en œuvre conformément aux :

- NF DTU 43.4 P1 ;
- Document Technique d'Application du revêtement d'étanchéité visant favorablement l'élément porteur bois.

3.7.2.2. Isolant

3.7.2.2.1. Généralités

Il est rappelé que :

- En climat de plaine, hors zone très froide, la résistance thermique de l'isolation support d'étanchéité ou inversée doit être supérieure ou égale à deux fois (règle des 2/3 – 1/3) la résistance thermique du panneau PFEIFER CLT utilisé (calculée selon son épaisseur avec $\lambda = 0,13 \text{ W/m.K}$) et de l'éventuelle isolation apportée par le plafond suspendu en sous-face du panneau structural.
- En climat de plaine en zone très froide, 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 (règle du 1/4 - 3/4) la résistance thermique du panneau structural utilisé (calculée selon son épaisseur avec $\lambda = 0,13 \text{ W/m.K}$) et de l'éventuelle isolation apportée par le plafond suspendu en sous-face du panneau structural.

3.7.2.2.2. Isolation inversée

Cf. § 3.5 du e-Cahier du CSTB 3814. Peuvent être utilisés les isolants inversés en polystyrène extrudé conformes aux Règles Professionnelles « Isolation inversée de toiture terrasse » de juin 2021 et certifiés ACERMI pour les spécifications prévues par les règles. En un ou plusieurs lits, ils sont posés conformément aux Règles Professionnelles « Isolation inversée de toiture terrasse » de juin 2021.

3.7.2.2.3. Isolant support d'étanchéité

Cf. § 3.3 du e-Cahier du CSTB 3814. Peuvent être utilisés tous les isolants supports d'étanchéité :

- faisant l'objet de Documents Techniques d'Application particuliers favorables pour cet emploi, pour autant qu'ils visent la pose sur élément porteur bois, dans le cas d'un emploi sous revêtement d'étanchéité apparent ou dans le cas des procédés d'isolation mixte ;
- conformes aux Règles Professionnelles « Isolants supports d'étanchéité en indépendance sous protection lourde » de juillet 2024 et certifiés ACERMI pour les spécifications prévues par les règles, dans le cas d'un emploi sous protection lourde.

En apparent, ils sont posés conformément au DTA du revêtement d'étanchéité.

Sous protection lourde, ils sont posés dans les conditions décrites par le Document Technique d'Application des panneaux isolants ou par les Règles Professionnelles « Isolants supports d'étanchéité en indépendance sous protection lourde » de juillet 2021 et selon celles du DTA du revêtement d'étanchéité.

3.7.2.3. Revêtements d'étanchéité

Peuvent être utilisés toutes les étanchéités faisant l'objet d'un Document Technique d'Application particulier favorable pour cet emploi, pour autant qu'il vise la pose sur élément porteur bois.

Les revêtements d'étanchéité sont mis en œuvre conformément à leur DTA.

3.7.2.4. Ouvrages particuliers

Les ouvrages particuliers (noues, faitages – arêtières, rives et égouts, chéneaux, traversées de toitures, etc.) sont réalisés conformément au Cahier du CSTB 3814, complété par les documents Techniques d'Application des revêtements d'étanchéité ou l'Avis Technique du procédé de végétalisation.

3.7.2.5. Reliefs

Aucune aspérité n'est admise le long du relevé.

Les reliefs sont réalisés en continuité des panneaux PFEIFER CLT de toiture (élément porteur des parties courantes). Ils sont réalisés par le lot charpente.

Les reliefs sont à créer solidaires de l'élément porteur à l'aide d'éléments PFEIFER CLT ou d'éléments en bois conforme à la norme NF DTU 43.4.

Les règles de dimensionnement sont conformes aux préconisations du DTU 43.4, paragraphe 8.2, pour les éléments en bois conformes au NF DTU 43.4.

Lorsque réalisés en panneaux structuraux PFEIFER CLT, les reliefs doivent être dimensionnés selon l'Annexe A3 du cahier du CSTB 3814.

3.7.2.6. Traitement des relevés

Cf. § 14 du e-Cahier du CSTB 3814.

Le pare-vapeur est relevé suffisamment pour permettre un recouvrement avec le revêtement d'étanchéité d'au moins 6 cm.

Le relevé d'étanchéité reçoit en tête un dispositif d'écartement des eaux de pluie et le relief est revêtu d'un bardage étanche à l'eau, sauf dans le cas de couvertine (voir figure A.8b).

3.7.2.7. Joints de dilatation

Les dispositions sont définies dans le § 15 du e-Cahier du CSTB n°3814.

3.7.2.8. Protections rapportées

3.7.2.8.1. Protection meuble

La protection meuble est conforme au NF DTU 43.4.

3.7.2.8.2. Protection dure des chemins de circulation, et terrasses techniques ou à zones techniques

La protection dure est conforme au NF DTU 43.4, par dalles préfabriquées en béton rapportées sur une couche de désolidarisation par granulats de la partie courante ou en non-tissé de polyester d'au moins 300 g/m².

3.7.2.8.3. Protection en toiture inversée

La protection lourde rapportée des terrasses inversées, sur élément porteur en bois massif, est conforme à celle décrite dans les Règles Professionnelles « Isolation inversée de toiture terrasse » de juin 2021 pour à la destination de toitures prévue au paragraphe 3.2, du présent document.

3.7.2.8.4. Protection en toiture végétalisées

La réalisation de la protection végétalisées est faite conformément à son Avis Technique.

3.7.3. Toiture froide non isolée en bâtiment ouvert ventilé par l'air extérieur (pente \geq 3%)

Les panneaux PFEIFER CLT peuvent également constituer le support direct du revêtement d'étanchéité en toitures inaccessibles et techniques sous protection lourde, ou végétalisées, en respectant les paragraphes 3.6.1.3. à 3.6.1.6.

Cette conception est limitée aux bâtiments ouverts non isolés et non chauffés.

La sous-face des panneaux doit être ventilée sur l'air extérieur, conformément aux prescriptions de la norme NF DTU 43.4.

3.8. Dispositions particulières aux terrasses accessibles aux piétons et au séjour

En terrasses accessibles aux piétons et au séjour, l'ouvrage de toiture est constitué de la manière suivante :

- Panneau PFEIFER CLT support d'étanchéité (élément porteur) ;
- Couche de protection du panneau PFEIFER CLT servant de pare-vapeur ;
- Isolant thermique ;
- Revêtement d'étanchéité en bitume modifié ou en PVC-P faisant l'objet d'un DTA pour l'emploi sur élément porteur en maçonnerie sur support isolant en terrasses accessibles avec protection par dalles sur plots ou platelage bois.

3.8.1. Couche de protection de l'élément porteur

Après pontage des joints selon le DTA du revêtement, l'élément porteur en panneau PFEIFER CLT reçoit une couche de protection formée :

- D'une feuille monocouche en bitume faisant l'objet d'un DTA en tant que revêtement d'étanchéité visant la pose directe sur supports à base de bois ;

Ou

- D'un revêtement d'étanchéité bicouche en bitume modifié faisant l'objet d'un DTA visant les supports à base de bois

Soit la feuille monocouche est mise en œuvre sur EIF par soudage au chalumeau à flamme en pleine adhérence, avec une largeur de recouvrement des lés conforme à son DTA.

Soit le revêtement bicouche est mis en œuvre sur EIF en adhérence totale par auto adhésivité ou soudage au chalumeau à flamme (avec une largeur de recouvrement minimum des lés de 6 cm).

Cette couche de protection fait office de pare-vapeur.

Une équerre de renfort est relevée en acrotère et en points singuliers, selon les prescriptions de son DTA, jusqu'au revêtement d'étanchéité bicouche, en respectant un recouvrement de 6 cm.

3.8.2. Support isolant thermique porteur

Sont admis, les panneaux isolants thermiques conformes aux Règles Professionnelles « Isolants supports d'étanchéité en indépendance sous protection lourde » de juillet 2024 et bénéficiant d'un certificat ACERMI pour les spécifications prévues par les règles pour l'emploi en pose libre sur éléments porteurs en maçonnerie, en terrasses accessibles avec protection par dalles sur plots, à base de :

- Polyisocyanurate parementé ;
- Polystyrène expansé ;

- Perlite expansée.

Les panneaux isolants sont mis en œuvre conformément aux Règles Professionnelles, en pose libre.

Dans le cas d'un panneau isolant en verre cellulaire, la mise en œuvre est réalisée en pose collée à l'EAC conformément aux Règles Professionnelles « Isolants supports d'étanchéité en indépendance sous protection lourde » de juillet 2024, avec une finition de la couche de protection, définie ci-dessus, grésée ou sablée.

3.8.3. Revêtement d'étanchéité

Sont admis, les revêtements d'étanchéité en bitume modifié ou en PVC -P faisant l'objet d'un DTA pour l'emploi sur élément porteur en maçonnerie, sur support isolant, en terrasses accessibles avec protection par dalles sur plots ou par platelage bois.

3.8.4. Traitement des relevés

La couche de protection (se reporter au paragraphe 3.8.1) est relevée suffisamment pour permettre un recouvrement avec le revêtement d'étanchéité d'au moins 6 cm.

Le relevé étanché est placé derrière un bardage étanche à l'eau et protégé en tête par une bande soline sous Avis Technique.

Les Documents Particuliers du Marché (DPM) doivent indiquer la composition de ce bardage et identifier le lot concerné par cet ouvrage.

3.8.5. Dispositions d'évacuation des eaux pluviales

La conception de l'ouvrage doit prévoir que les descentes d'eaux pluviales soient visibles par l'occupant, permettant d'alerter les occupants d'une infiltration d'eau éventuelle.

Elles sont traitées par un manchon relié à la couche de protection soudée aux panneaux PFEIFER CLT et une descente reliée au revêtement d'étanchéité sous les dalles sur plots.

3.8.6. Protections 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 ;
- Paragraphe 5.5 du CPT Commun du Fascicule du CSTB 3502 d'Avril 2004 ;
- Le Document Technique d'Application particulier des revêtements d'étanchéité visant l'élément porteur en maçonnerie.

3.8.7. 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.

3.9. Montage par le charpentier

3.9.1. Généralités

D'une manière générale, et quelle que soit la fonction du panneau PFEIFER CLT dans l'ouvrage, la mise en œuvre des panneaux PFEIFER CLT impose les dispositions usuelles relatives à la sécurité des personnes contre les chutes de hauteur. Les panneaux PFEIFER CLT sont mis en œuvre par une entreprise ayant les qualifications pour effectuer des travaux de grutage et des travaux en hauteur.

On se référera aux dispositions du paragraphe 2.10.2 du Dossier Technique vis-à-vis de la réception et du stockage sur chantier, du montage et de la protection vis-à-vis des intempéries.

3.9.2. Levage

Concernant la pose des panneaux de toiture, Pfeifer peut munir à la demande les panneaux PFEIFER CLT de points d'accrochage pour un levage sécurisé.

Au moment de la commande, Pfeifer Timber GmbH s'assure auprès de la société ayant à charge le montage du PFEIFER CLT que les moyens de levages sont en cohérence avec la masse des panneaux commandés. Chaque panneau est fixé à la structure porteuse de manière définitive avant le décrochage des points de levage.

Le nombre et le positionnement des points d'ancrage (écartement) doivent être étudiés non seulement en fonction de la masse, mais également des angles limites et longueurs de câbles de levage.

Les règles d'usage concernant la circulation des personnes sous charges le long du cheminement des panneaux dans l'air devront être respectées.

La possibilité de décharger un panneau devra être systématiquement pesée au regard des conditions climatiques, notamment du vent, en particulier lorsque les panneaux sont manutentionnés à la verticale.

3.9.3. Stabilisation de l'ouvrage en phase de montage

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 PFEIFER CLT, en position horizontale ou inclinée, 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. A ce titre, le dimensionnement des fixations du premier panneau doit être réalisé afin de reprendre les éventuelles poussées des panneaux suivants (composante de glissement en fonction de l'angle de la toiture).

3.9.4. Protection de l'ouvrage vis-à-vis des intempéries

Après montage des panneaux, le système d'étanchéité est à monter le plus rapidement possible. Si des intempéries sont prévues, les panneaux sont à protéger selon les dispositions du § 8.2 eCahier du CSTB 3814. Par ailleurs, le renouvellement d'air doit être assuré de manière efficace pour éviter une humidification due à l'évaporation de l'eau provenant d'autres matériaux (fondations, dalles, murs et noyaux en béton, chapes humides...), par exemple en laissant les fenêtres et portes ouvertes le temps du séchage, ou en ayant recours à la ventilation mécanique.

3.10. Entretien et réparation des toitures

3.10.1. Entretien et réparation des panneaux PFEIFER CLT

Se reporter à la partie Avis et au Dossier Technique.

3.10.2. Entretien et réparation des toitures

3.10.2.1. Entretien

- Entretien et réparation des panneaux structuraux PFEIFER CLT : se reporter au Dossier Technique.

L'entretien des toitures est celui prescrit par la norme 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 selon le § 3.8 se reporter :
 - au paragraphe 5 de la norme NF DTU 43.1 P3 ;
 - aux Documents Techniques d'Application particuliers des revêtements d'étanchéité.

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

a) Panneaux structuraux PFEIFER CLT : les études préalables prescrite au paragraphe 5 de la norme NF DTU 43.5 doivent comprendre un contrôle de la teneur en humidité des panneaux en bois massifs contrecollés et la vérification de leur salubrité. L'humidité des panneaux ne devra pas dépasser 18 %. 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 DTU 43.5 vis à vis des risques d'accumulation d'eau.

3.11. Assistance technique

La conception et le calcul des panneaux PFEIFER CLT sont à la charge du bureau d'études techniques (spécialisés ou non) référencé par le service d'assistance technique Pfeifer Timber. Le bureau d'études doit également fournir un plan de pose complet. Pfeifer Timber prête l'assistance technique nécessaire dans ce cadre. Pfeifer Timber fournit une assistance technique sur demande en phase de conception et de préparation d'exécution de la structure. Un logiciel de dimensionnement est tenu à disposition des bureaux d'études par Pfeifer Timber, afin de vérifier en phase définitive les éléments porteurs pour étanchéité.

Le bureau d'études, le charpentier en charge de la réalisation de la structure et l'étancheur devront 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 d'étanchéité, de la protection éventuelle et de toiture végétalisée mis en œuvre, de la faisabilité des fixations et assemblages et de la prise en compte des flèches W_{fin} fonction de la pente de l'élément porteur (cf. § 3.2).

3.12. Tableaux et figures

Tableau A.1 – Domaines d'emploi

	Isolation	
	Avec	Sans ⁽¹⁾
Toitures et terrasses inaccessibles		
- Apparent	X	
- Végétalisée	X	X
- Protection lourde	X	X
- Membrane avec film souple photovoltaïque	X	
Terrasses accessibles aux piétons et au séjour		
- Protection par dalles sur plots ou platelage bois (3)	X ⁽²⁾	

⁽¹⁾ Toiture froide exclusivement sur locaux non chauffés

⁽²⁾ L'isolant est mis en œuvre sur la couche de protection servant de pare-vapeur (cf. § 3.8.1)

⁽³⁾ cf. § 3.8.7

Tableau A.2 – Emploi en toitures inaccessibles, chemins de circulation et toitures à zones techniques (1) en France métropolitaine

Support direct du revêtement d'étanchéité (2) ≤ pente ≤ (3)	Revêtement d'étanchéité (4)				
	Systèmes apparents		Systèmes sous protection meuble		
	semi-indépendant	adhérent	indépendant	semi-indépendant	adhérent
Panneaux PFEIFER CLT (5)			OUI	OUI	OUI (8)
Panneaux PFEIFER CLT sous isolation inversée (6)			OUI	OUI	OUI (8)
Panneaux PFEIFER CLT + pare-vapeur + support isolant (7)	OUI	OUI	OUI	OUI	OUI (8)

OUI : signifie une 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 du domaine 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. § 3.2)
(3) En systèmes apparents : ≤ 7 % en zones techniques et ≤ 50 % pour les chemins de circulation ; sous protection meuble : pente ≤ 5 %
(4) Les revêtements d'étanchéité sont mis en œuvre conformément à leur Document Technique d'Application
(5) Toitures froides exclusivement sur bâtiments ouverts non chauffés
(6) Les Règles professionnelles « Isolants supports d'étanchéité en indépendance sous protection lourde » de Juin 2021 indiquent les protections admises pour les panneaux de polystyrène extrudé.
(7) Dans le cas d'un support isolant en verre cellulaire, on se reportera au Document Technique d'Application des plaques de verre cellulaire
(8) Pontage des panneaux PFEIFER CLT selon le § 3.6.1.1

Tableau A.3 – Emploi en terrasses et toitures végétalisées (1) en France métropolitaine

Support direct du revêtement d'étanchéité pente : (2)	Revêtement d'étanchéité (3)		
	Indépendant (9)	semi-indépendant	adhérent
Panneaux PFEIFER CLT (5)		OUI	OUI (8)
Panneaux PFEIFER CLT sous isolation inversée (6)		OUI	OUI (8)
Panneaux PFEIFER CLT + pare-vapeur + support isolant (7)		OUI	OUI (8)

OUI : signifie une 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
Les zones grisées correspondent à des exclusions du domaine d'emploi

(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 de 3% .
(3) Les revêtements d'étanchéité sont mis en œuvre conformément à leur Document Technique d'Application
(4) L'indépendance peut être admise favorablement par l'Avis Technique du système de végétalisation de toiture étanchée
(5) Toiture froide exclusivement sur locaux non chauffés
(6) Les protections admises par l'isolant sont celles des Règles professionnelles « Isolants supports d'étanchéité en indépendance sous protection lourde » de Juin 2021 complété par l'Avis Technique du procédé de végétalisation
(7) Dans le cas d'un support isolant en verre cellulaire, on se reportera au Document Technique d'Application des plaques de verre cellulaire
(8) Pontage des panneaux PFEIFER CLT selon le § 3.7.2.1
(9) L'indépendance peut être admise favorablement par l'Avis Technique du système de végétalisation de toiture étanchée.

Tableau A.4 – Emploi en terrasses accessibles avec dalles sur plots(1) ou platelage bois (7)

Support direct du revêtement d'étanchéité (2) ≤ pente ≤ 5%	Revêtement d'étanchéité (3)		
	indépendant	semi-indépendant	adhérant
Panneaux PFEIFER CLT (4)			
Panneaux PFEIFER CLT sous isolation inversée			
Panneaux PFEIFER CLT + pare-vapeur (5) + support isolant (7)	OUI	OUI	OUI
<p>OUI : signifie une 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 du domaine d'emploi</p> <p>(1) Avec le système de dalles sur plots 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. § 3.2). La pente maximale est de 5%. (3) Le revêtement d'étanchéité est mis en œuvre conformément à son Document Technique d'Application. (4) Toiture froide exclusivement sur bâtiments ouverts non chauffés. (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. § 3.8.1). (6) Dans le cas d'un support isolant en verre cellulaire, on se reportera au Document Technique d'Application des plaques de verre cellulaire. (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).</p>			

Figure A.5 – Exemple de composition des panneaux PFEIFER CLT

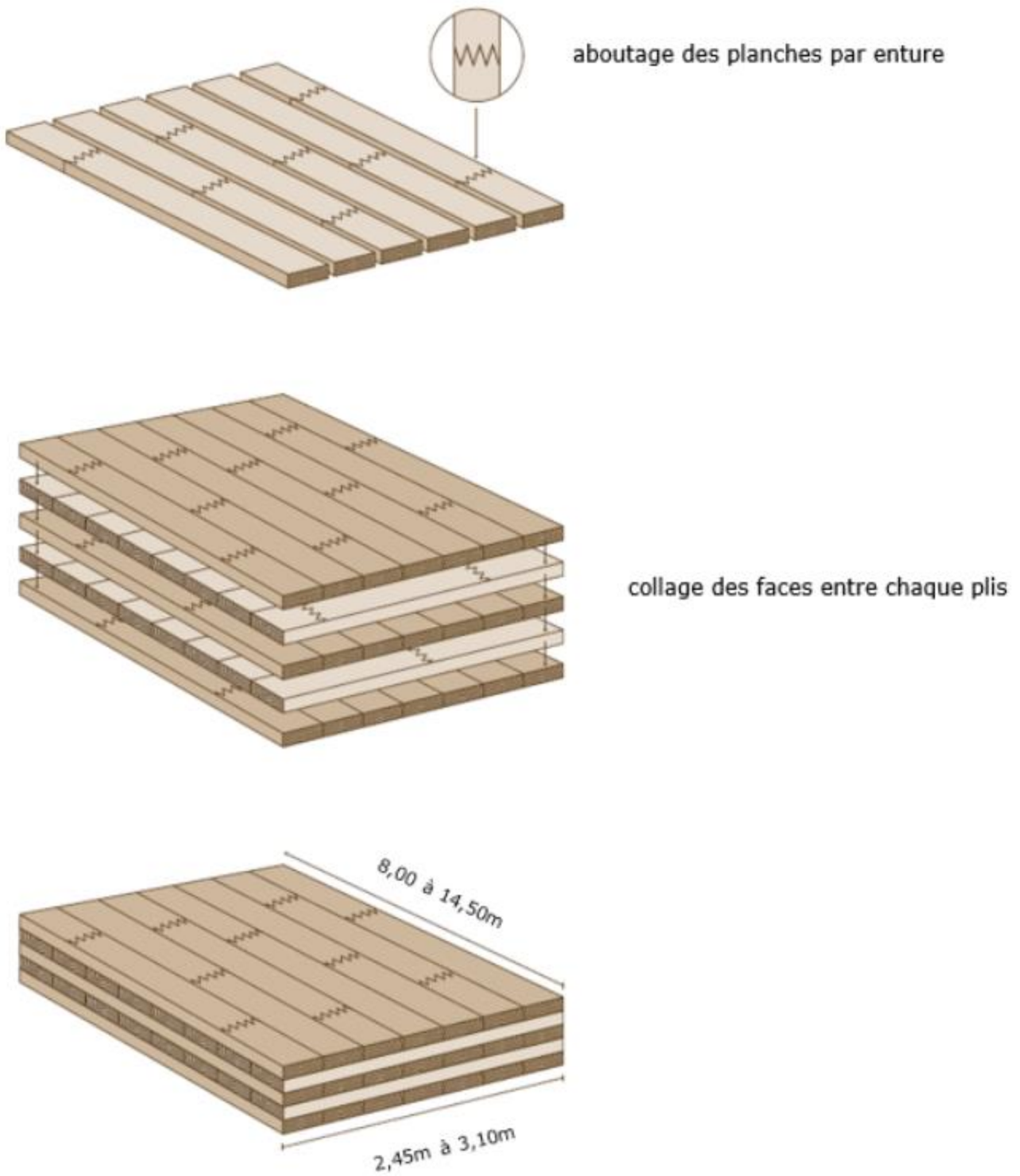


Figure A.6 – Exemple d'assemblages des panneaux PFEIFER CLT

Figure A.6a – Assemblage par « fausse-languette »

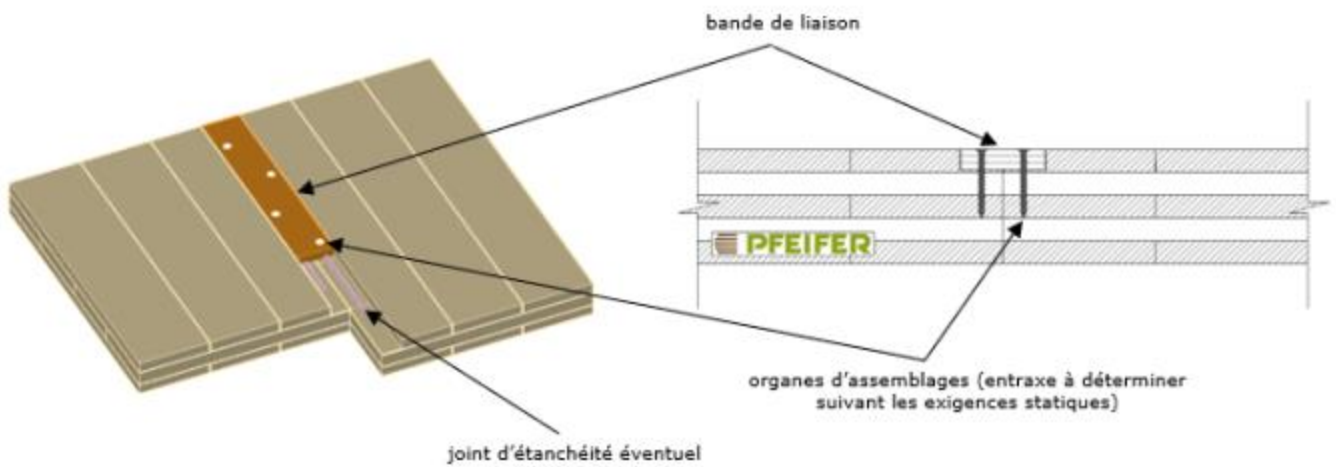


Figure A.6b – Assemblage à « mi-bois »

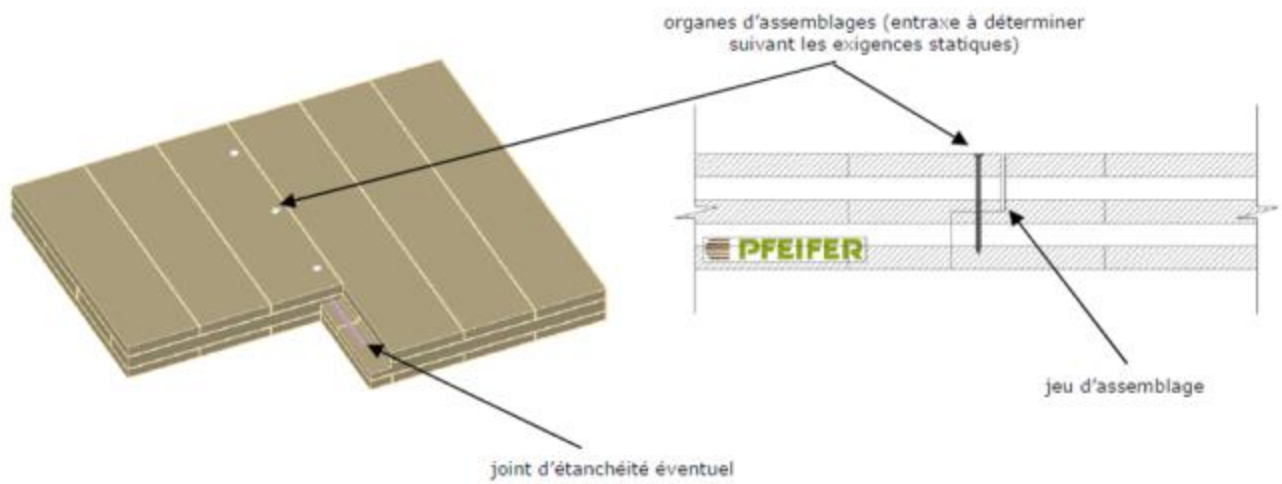


Figure A.6c – Assemblage « chant contre chant » par vis lardées

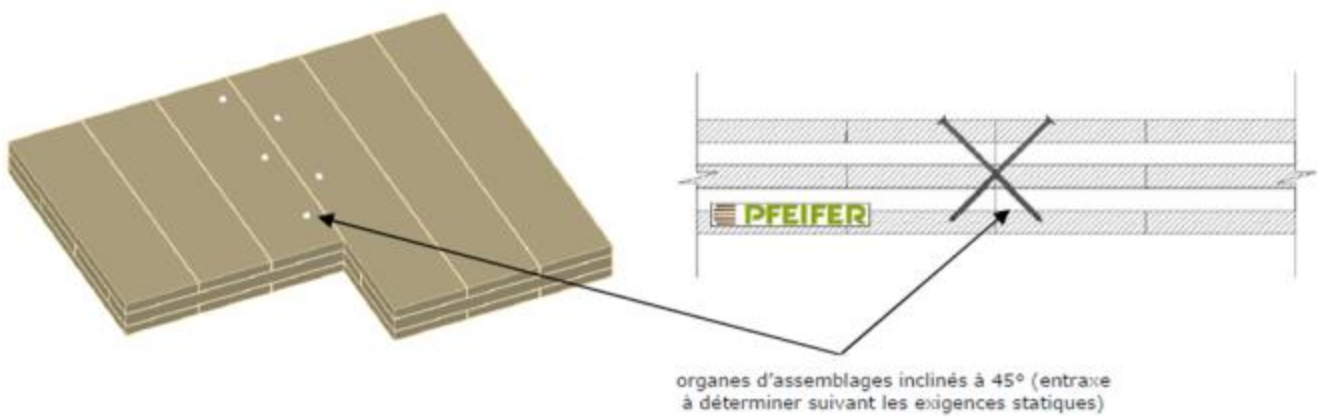


Figure A.7a – Costière de rive selon le NF DTU 43.4 P1 - Bâtiment non chauffé et ventilé avec toiture non isolée

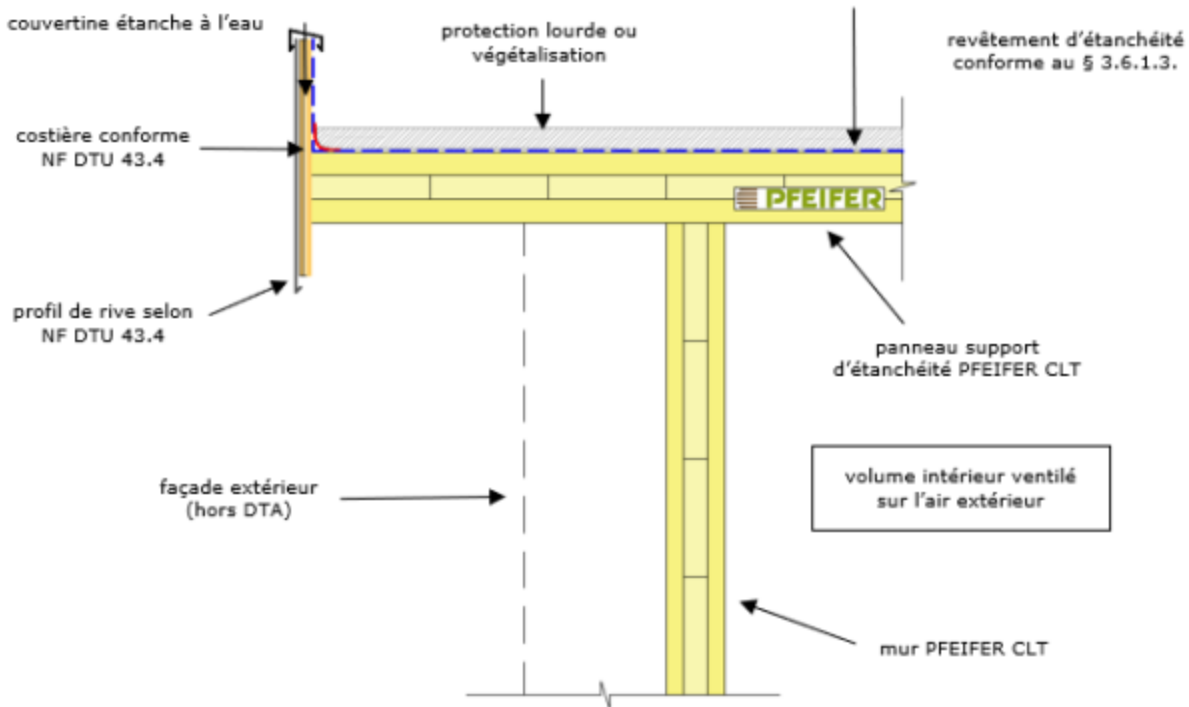


Figure A.7b – Bande de rive métallique – Bâtiment chauffé avec toiture isolée

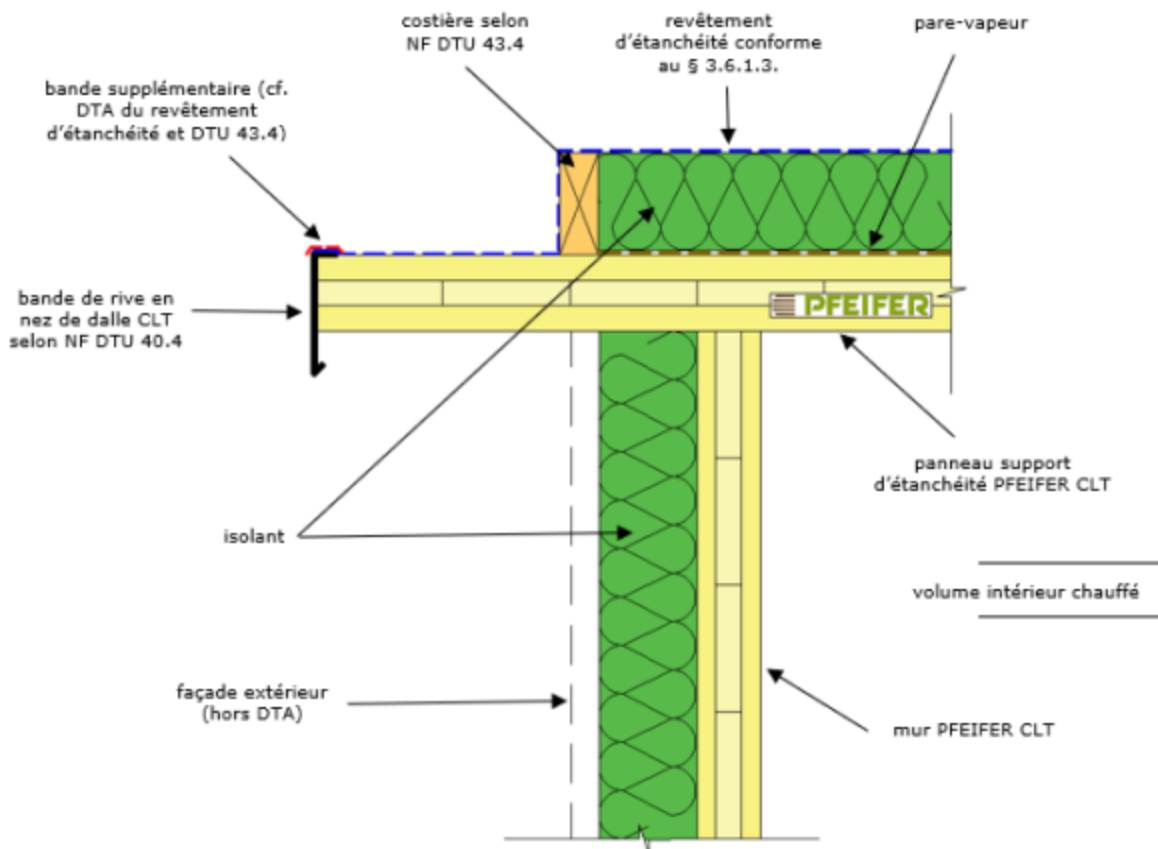


Figure A.7c – Costière de rive selon le NF DTU 43.4 P1 - Bâtiment chauffé avec toiture isolée

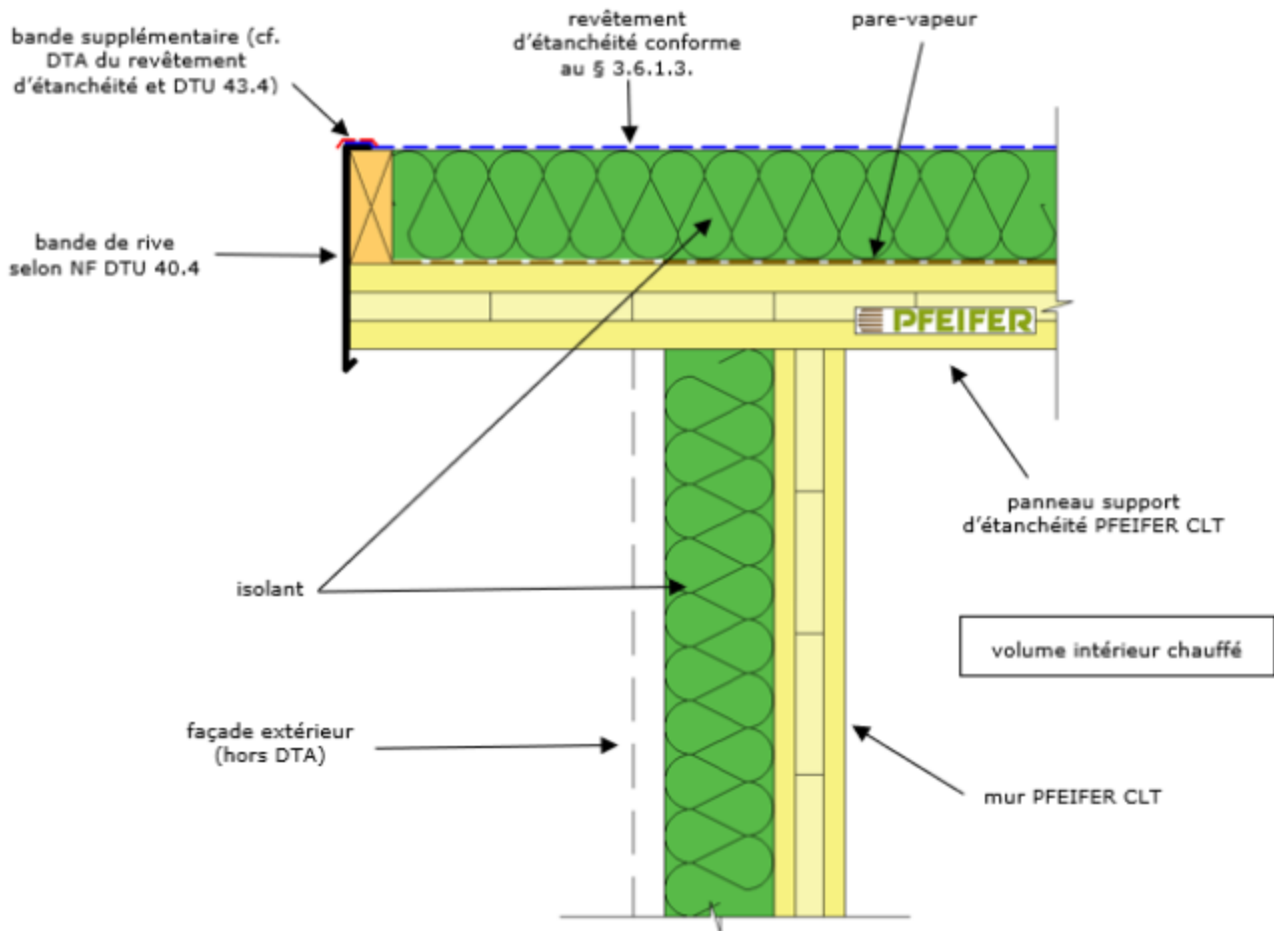


Figure A.8a – Exemple de relevés sur ossature secondaire avec costière métallique (selon NF DTU 43.4. P1) en toitures inaccessible, technique ou végétalisée

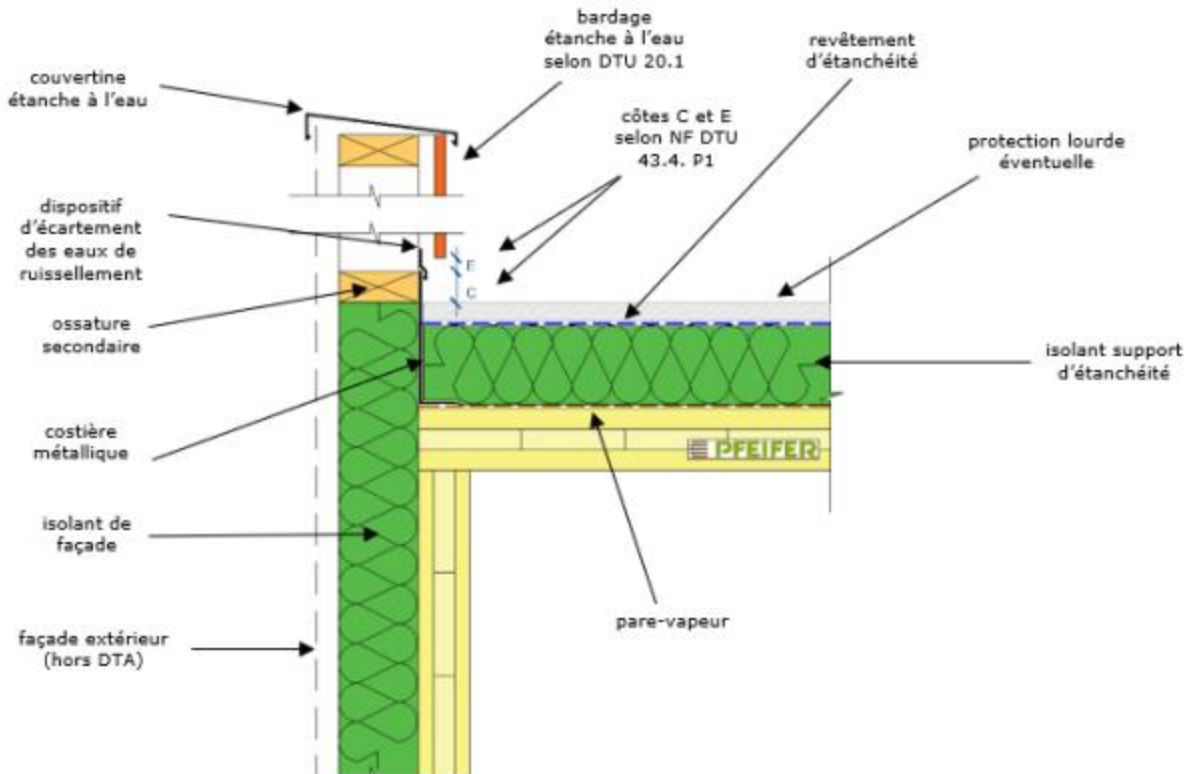


Figure A.8b – Exemple de relevé sur panneau PFEIFER CLT avec costière métallique (selon NF DTU 43.4. P1) en toitures inaccessible, technique ou végétalisée

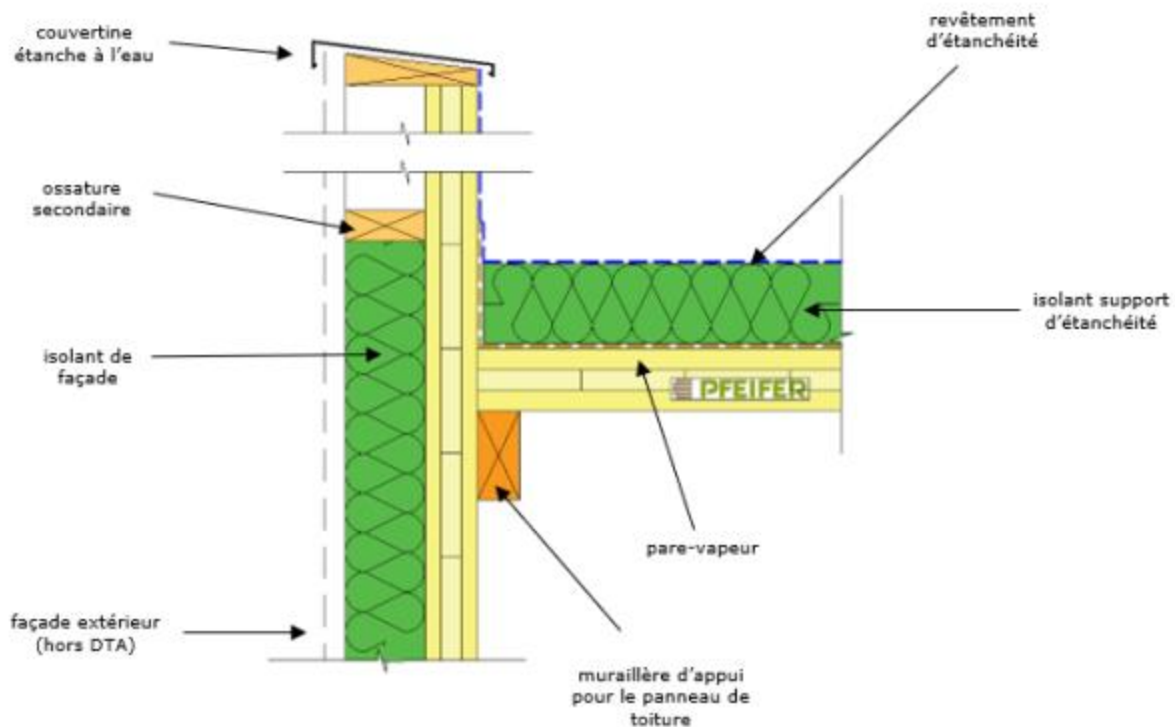


Figure A.8c – Exemple de relevé sur panneau PFEIFER CLT avec costière métallique (selon NF DTU 43.4. P1) en toitures inaccessible, technique ou végétalisée

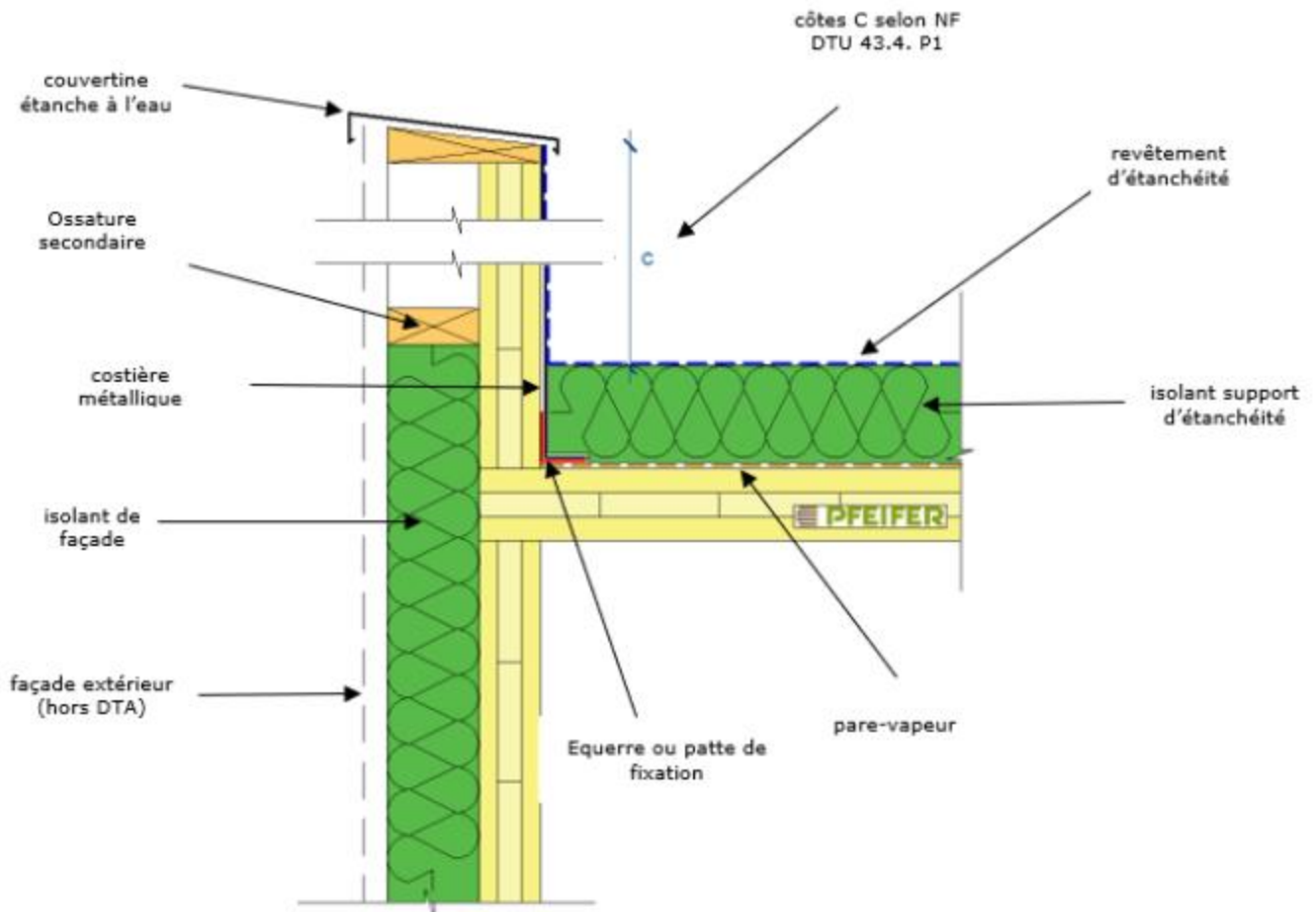


Figure A.8d – Exemple de relevé en terrasse accessible aux piétons et au séjour

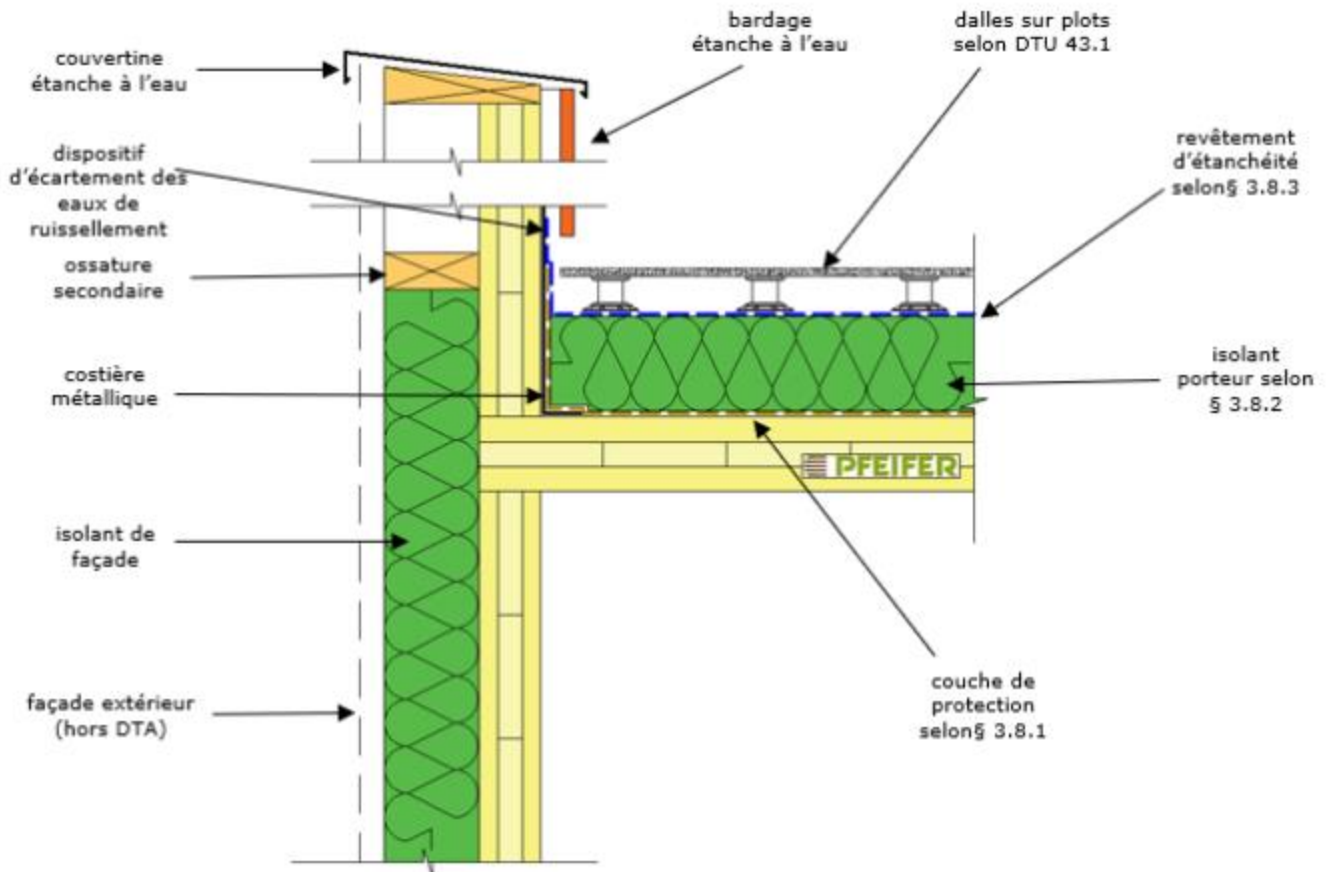


Figure A.9 – Descente des eaux pluviales en terrasse accessible aux piétons et au séjour

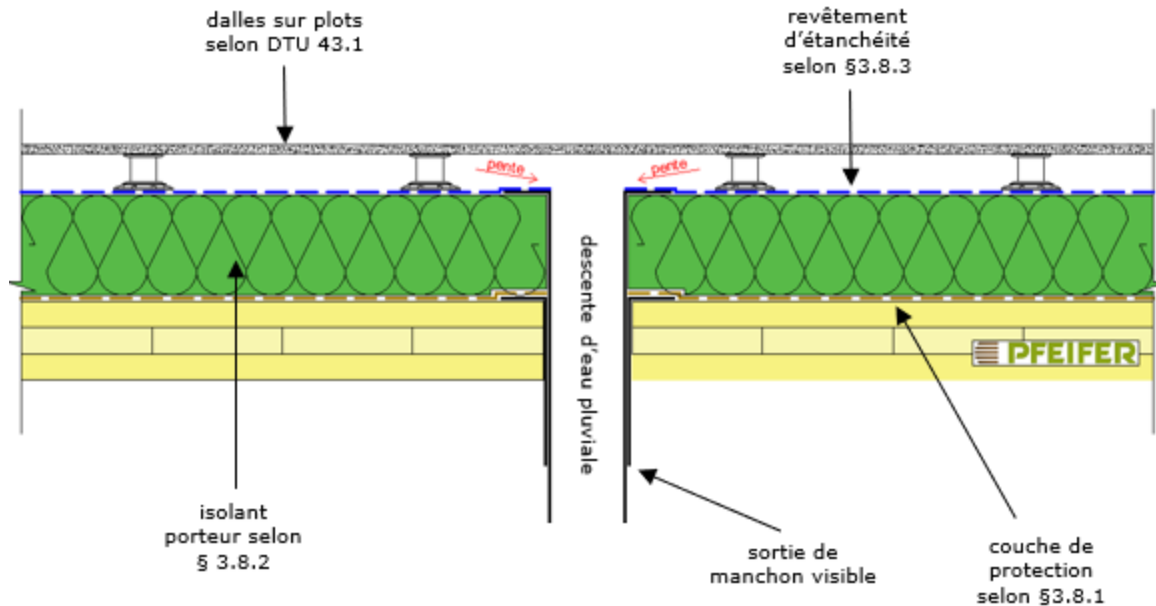


Figure A.10 – Exemple de jointolement des panneaux PFEIFER CLT, sur un joint de dilatation en costière bois massif ou panneau PFEIFER CLT

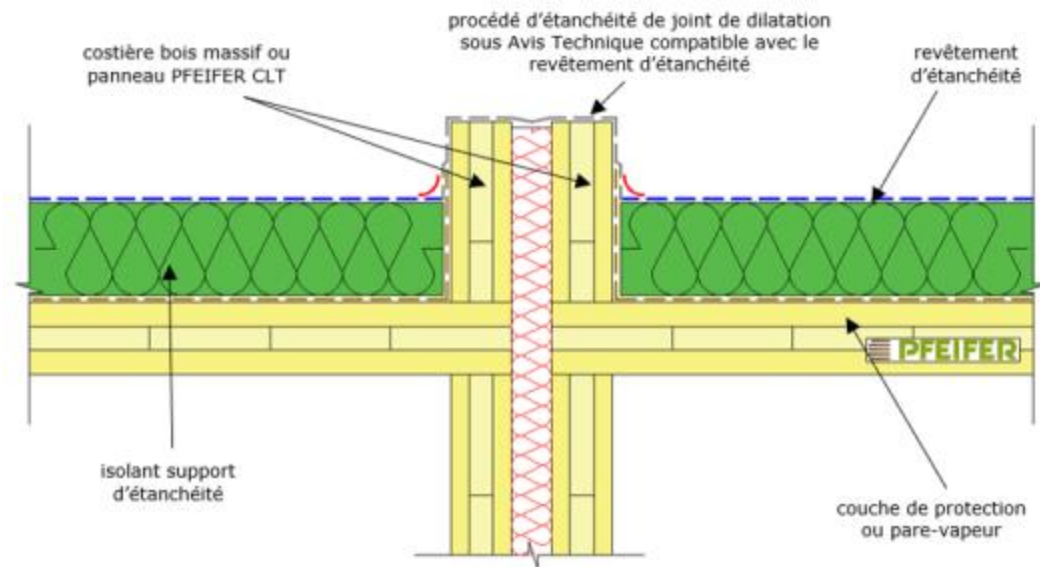


Figure A.11 – Traversée ponctuelle

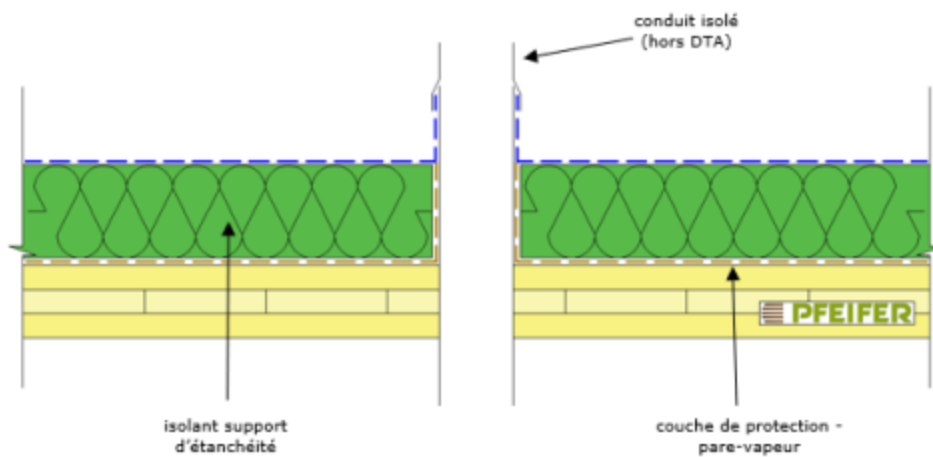


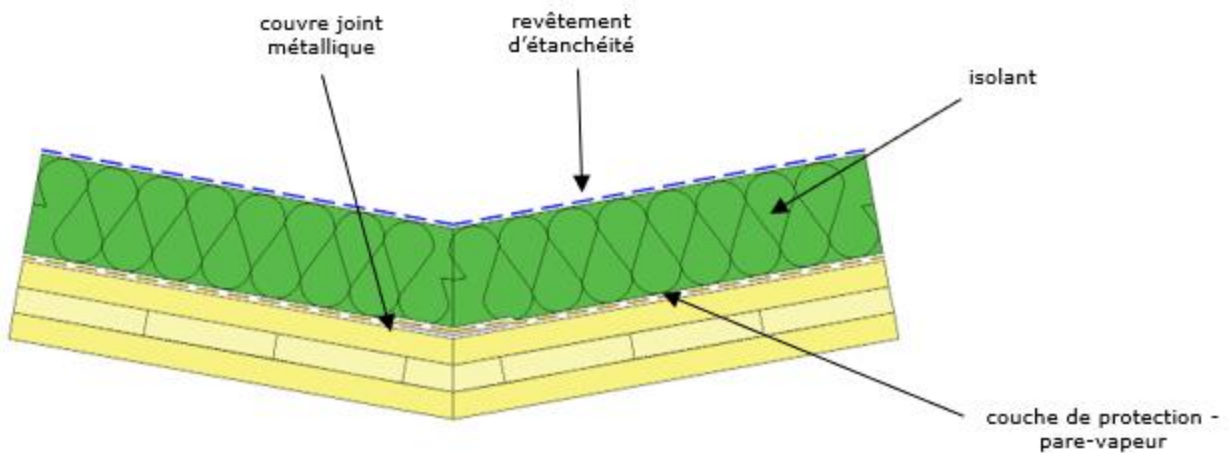
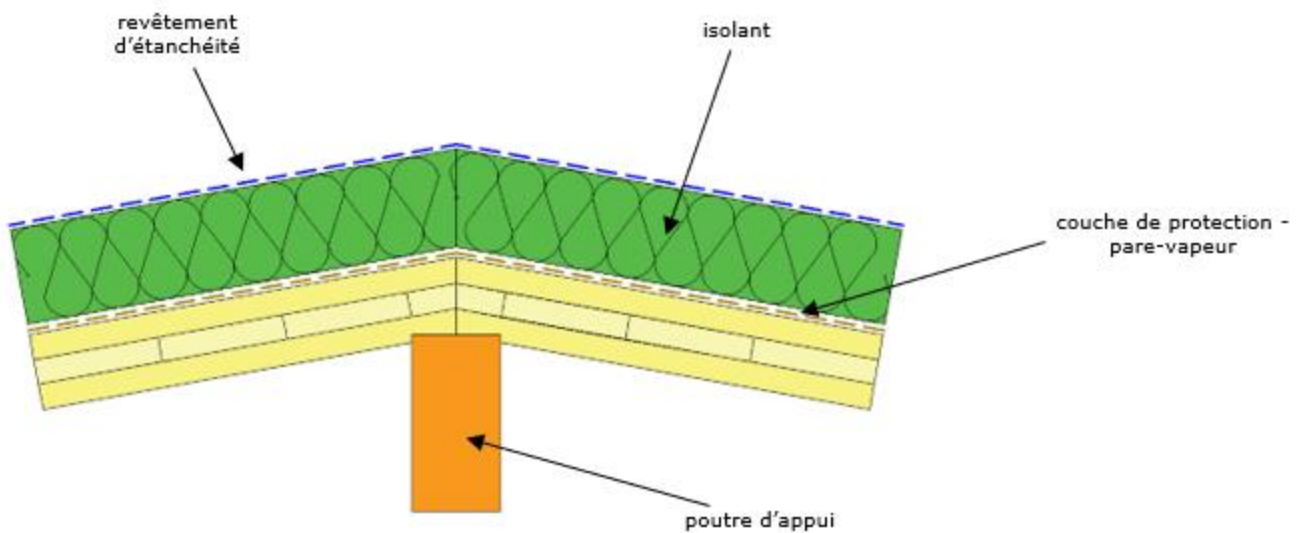
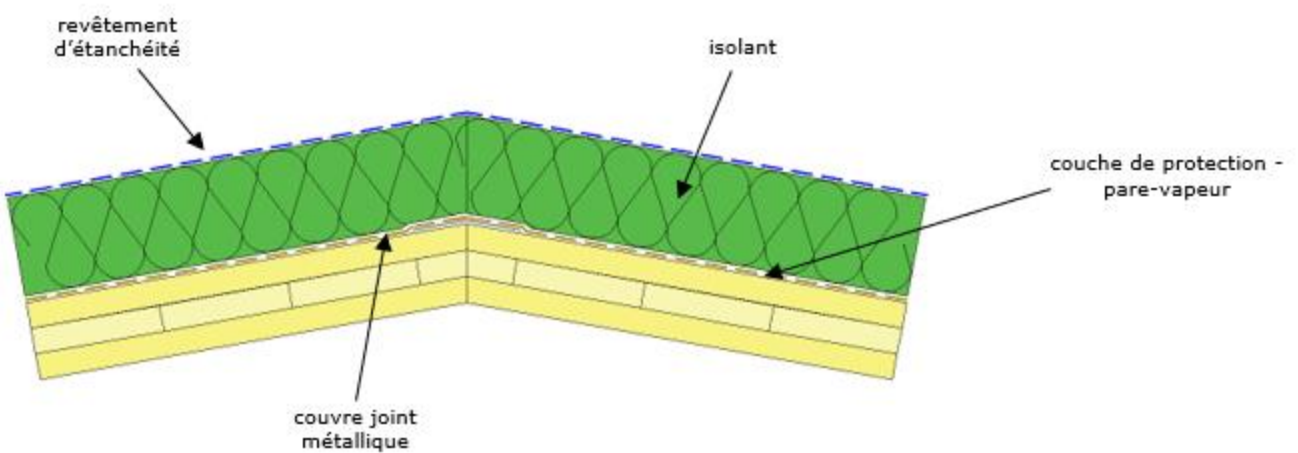
Figure A.12 – Exemple de jointement sur noue non appuyé – pente $\geq 1,5\%$ **Figure A.13a – Exemple de jointement au faitage sur appui simple****Figure A.13b – Exemple de jointement au faitage non appuyé**

Figure A.14a – Pose dite « chevron » avec sens de portée des panneaux suivant rampant

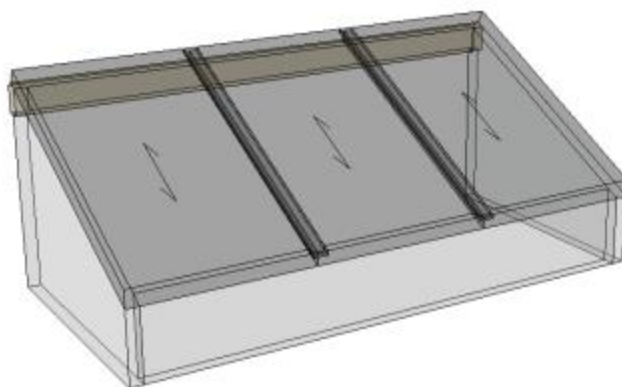


Figure A.14b – Pose dite « lambourde » avec sens de portée des panneaux parallèle au faitage

