



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »
www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

GUIDE

**PANNEAUX MASSIFS
BOIS CONTRECOLLÉS**

NOVEMBRE 2014

NEUF

ÉDITO

Le Grenelle Environnement a fixé pour les bâtiments neufs et existants des objectifs ambitieux en matière d'économie et de production d'énergie. Le secteur du bâtiment est engagé dans une mutation de très grande ampleur qui l'oblige à une qualité de réalisation fondée sur de nouvelles règles de construction.

Le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a pour mission, à la demande des Pouvoirs Publics, d'accompagner les quelque 370 000 entreprises et artisans du secteur du bâtiment et l'ensemble des acteurs de la filière dans la réalisation de ces objectifs.

Sous l'impulsion de la CAPEB et de la FFB, de l'AQC, de la COPREC Construction et du CSTB, les acteurs de la construction se sont rassemblés pour définir collectivement ce programme. Financé dans le cadre du dispositif des certificats d'économies d'énergie grâce à des contributions importantes d'EDF (15 millions d'euros) et de GDF SUEZ (5 millions d'euros), ce programme vise, en particulier, à mettre à jour les règles de l'art en vigueur aujourd'hui et à en proposer de nouvelles, notamment pour ce qui concerne les travaux de rénovation. Ces nouveaux textes de référence destinés à alimenter le processus normatif classique seront opérationnels et reconnus par les assureurs dès leur approbation ; ils serviront aussi à l'établissement de manuels de formation.

Le succès du programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » repose sur un vaste effort de formation initiale et continue afin de renforcer la compétence des entreprises et artisans sur ces nouvelles techniques et ces nouvelles façons de faire. Dotées des outils nécessaires, les organisations professionnelles auront à cœur d'aider et d'inciter à la formation de tous.

Les professionnels ont besoin rapidement de ces outils et « règles du jeu » pour « réussir » le Grenelle Environnement.

Alain MAUGARD

Président du Comité de pilotage du Programme
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »
Président de QUALIBAT



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

AVANT- PROPOS

Afin de répondre au besoin d'accompagnement des professionnels du bâtiment pour atteindre les objectifs ambitieux du Grenelle Environnement, le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a prévu d'élaborer les documents suivants :

Les **Recommandations Professionnelles** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques de référence, préfigurant un avant-projet NF DTU, sur une solution technique clé améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur vocation est d'alimenter soit la révision d'un NF DTU aujourd'hui en vigueur, soit la rédaction d'un nouveau NF DTU. Ces nouveaux textes de référence seront reconnus par les assureurs dès leur approbation.

Les **Guides** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques sur une solution technique innovante améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur objectif est de donner aux professionnels de la filière les règles à suivre pour assurer une bonne conception, ainsi qu'une bonne mise en œuvre et réaliser une maintenance de la solution technique considérée. Ils présentent les conditions techniques minimales à respecter.

Les **Calepins de chantier** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des mémentos destinés aux personnels de chantier, qui illustrent les bonnes pratiques d'exécution et les dispositions essentielles des Recommandations Professionnelles et des Guides « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 ».

Les **Rapports** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » présentent les résultats soit d'une étude conduite dans le cadre du programme, soit d'essais réalisés pour mener à bien la rédaction de Recommandations Professionnelles ou de Guides.

Les **Recommandations Pédagogiques** « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents destinés à alimenter la révision des référentiels de formation continue et initiale. Elles se basent sur les éléments nouveaux et/ou essentiels contenus dans les Recommandations Professionnelles ou Guides produits par le programme.

L'ensemble des productions du programme d'accompagnement des professionnels « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » est mis gratuitement à disposition des acteurs de la filière sur le site Internet du programme : <http://www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr>



Sommaire

1 - Domaine d'application 7

2 - Phase de conception et de réalisation de l'ouvrage – procédé et gestion des interfaces 9

2.1. • Phase de conception	9
2.2. • Phase d'exécution	10
2.3. • Performances	10
2.4. • Interface entre lots	11

3 - Matériaux 13

3.1. • Bois	13
3.1.1. • Essences	13
3.1.2. • Résistance mécanique des planches	13
3.1.3. • Masse volumique	14
3.1.4. • Variations dimensionnelles en fonction de l'humidité	14
3.1.5. • Humidité des bois	14
3.1.6. • Durabilité et traitement	15
3.1.7. • Section et profil des planches	15
3.2. • Adhésifs	16
3.2.1. • Collage des plis et aboutage	16
3.2.2. • Comptabilité avec le matériau	16
3.3. • Organes de fixation	17
3.3.1. • Généralités	17
3.3.2. • Fixations au soubassement	17
3.3.3. • Protection des assemblages	18
3.4. • Menuiseries	19
3.5. • Finitions	19
3.5.1. • Revêtements extérieurs	19
3.5.2. • Revêtements intérieurs	20
3.5.3. • Peintures et lasures	21
3.5.4. • Sous-faces et revêtements de plancher	21

4 - Conception et dimensionnement 22

4.1. • Performances thermiques et énergétiques	22
4.1.1. • Contexte réglementaire	22
4.1.2. • Performances thermiques intrinsèques du procédé	23
4.1.3. • Valeurs précalculées des ponts thermiques intégrés	33
4.1.4. • Valeurs tabulées	36
4.1.5. • Ponts thermiques des liaisons	37
4.1.6. • Contribution qualitative au confort d'été dans le bâtiment	52
4.2. • Transferts hygrothermiques	53
4.2.1. • Évaluation des risques de condensation	53
4.2.2. • Exemples de résultats	59
4.3. • Aspect acoustique	60
4.3.1. • Rappel réglementaire	60

4.3.2. • Description succincte des systèmes rencontrés et de leur environnement technique.....	62
4.3.3. • Effets sur l'acoustique	64
4.3.4. • Isolement au bruit aérien entre deux locaux.....	66
4.3.5. • Quelques exemples de performance acoustique de composants	70
4.3.6. • Exemple de solution acoustique pour un bâtiment de logements collectifs.....	72
4.4. • Aspects structuraux	73
4.4.1. • Contexte général.....	73
4.4.2. • Dimensionnement des planchers.....	73
4.4.3. • Dimensionnement des murs	77
4.5. • Vérification des assemblages.....	81
4.5.1. • Généralités.....	81
4.5.2. • Assemblages par pointes.....	83
4.5.3. • Assemblages par vis.....	84
4.5.4. • Modes de rupture pour les assemblages bois-bois et bois-panneaux ...	86
4.5.5. • Modes de rupture pour les assemblages bois-métal	86
4.5.6. • Spécificités pour mise en œuvre en zone sismique	87
4.6. • Justification sismique.....	88
4.6.1. • Mode de calcul	88
4.6.2. • Dispositions constructives spécifiques.....	89
4.7. • Aspect incendie.....	94
4.7.1. • Contexte général.....	94
4.7.2. • Principe.....	95
4.7.3. • Méthode de calcul	97
4.7.4. • Propagation du feu aux façades.....	100

5 - Conditions de fabrication.....101

5.1. • Fabrication des panneaux	101
5.1.1. • Process	102
5.1.2. • Technologies	103
5.2. • Précisions de fabrication	104
5.2.1. • Planches.....	104
5.2.2. • Joints	104
5.3. • Tolérances dimensionnelles standard	104
5.3.1. • Équerrage des panneaux.....	104
5.3.2. • Épaisseur des panneaux et des plis.....	105
5.3.3. • Dimensions en plan.....	105
5.3.4. • Positions et dimensions des usinages	105
5.4. • Contrôle de la fabrication.....	106
5.4.1. • Qualité des bois.....	106
5.4.2. • Qualité des colles, des résines et des durcisseurs.....	106
5.4.3. • Aboutage des planches	106
5.4.4. • Collage des panneaux	107
5.4.5. • Aboutage des panneaux	108
5.4.6. • Traçabilité.....	109
5.5. • Conditions de stockage et de transport	110
5.5.1. • Usine	110
5.5.2. • Transport	110
5.5.3. • Chantier	110

6 - Mise en œuvre.....111

6.1. • Spécificités du chantier.....	111
6.2. • Généralité	112
6.2.1. • Contenu des travaux.....	112
6.2.2. • Tolérance du support	113
6.2.3. • Passage des réseaux dans l'épaisseur du panneau CLT	113
6.2.4. • Stockage et protection face aux intempéries	116
6.3. • Manutention des panneaux CLT	120

6.3.1. • Généralité	120
6.3.2. • Mode de calcul de la charge	121
6.3.3. • Dimensionnement des outils de manutention	122
6.3.4. • Exemple de levage	122
6.4. • Pose des panneaux	125
6.4.1. • Acceptation des supports	126
6.4.2. • Phases de mise en œuvre pour les panneaux verticaux	126
6.4.3. • Phases de mise en œuvre pour les panneaux horizontaux	131
6.4.4. • Stabilité provisoire du bâtiment en construction	135
6.4.5. • Étanchéité à l'air	135
6.5. • Typologie des assemblages	137
6.5.1. • Assemblages bois-bois ou bois-panneaux	137
6.5.2. • Assemblages bois-métal	144
6.6. • Dispositions constructives de points singuliers	148
6.6.1. • Porte-à-faux	149
6.6.2. • Garde-corps	149
6.6.3. • Acrotères	151
6.7. • Intégration des menuiseries	153
6.7.1. • Introduction	153
6.7.2. • Carnet de détails	154
6.8. • Couverture	154
6.8.1. • Généralités	154
6.8.2. • Isolation par l'intérieur	155
6.8.3. • Isolation par l'extérieur	160
6.9. • Panneaux CLT support d'isolation et d'étanchéité	188
6.9.1. • Mise en œuvre directe des étanchéités sur panneaux CLT	188
6.9.2. • Isolation continue support d'étanchéité continue support d'étanchéité	189
6.9.3. • Isolation inversée sur étanchéité	198
6.10. • Isolation et finitions	199
6.10.1. • Finitions extérieures	199
6.10.2. • Finitions Intérieures	201

7 - Références 206

Annexe 1 – Méthode de calcul des planchers 211

1.1 Données	211
1.2. Vérifications à l'ELU instantané	212
1.3. Vérifications à l'ELU final	214
1.4. Vérifications ELS	214
1.4.1 Caractéristiques mécaniques instantanées (charge à court terme : instantanées)	214
1.4.2. Caractéristiques mécaniques finales (charge à long terme : permanentes)	214
1.4.3. Vérifications de flèche	215
1.4.4. Vérifications de flèche totale (absolue)	215
1.4.5. Vérifications de flèche instantanée	215
1.4.6. Vérifications de flèche active	215

Annexe 2 – Carnet de détails « menuiseries » 217

Liste des abréviations 248

NOTE IMPORTANTE

Les procédés des panneaux CLT sont visés par les Avis techniques ou Documents Techniques d'Application s'y référant.

Le domaine d'application (typologie d'ouvrage, dispositions concernant la réglementation sismique, feu et autres limitations) ainsi que les conditions d'utilisation du procédé, en termes de fabrication et de conception, sont indiqués dans les Avis Techniques.

De fait, les différentes dispositions décrites dans le présent guide ne prétendent en aucun cas se substituer ni prévaloir aux exigences et prescriptions contenues dans les Avis Techniques.



1

Domaine d'application



Le domaine d'application visé dans cet ouvrage correspond aux bâtiments d'habitation, de bureaux ou des établissements recevant du public, en construction neuve, dans les conditions de la France européenne et dans celles énoncées aux paragraphes ci-après, climat de montagne et zones sismiques 1 à 4 inclus.

Pour la réalisation des murs porteurs et/ou à fonction de contreventement, ce document vise la réalisation de bâtiments d'habitation jusqu'à la troisième famille comprise, de bâtiments industriels, agricoles et d'établissements recevant du public. Les limitations du domaine d'application résultent alors du respect de la réglementation en vigueur qui leur est applicable.

Pour la réalisation des planchers, le procédé est limité à la reprise de charges à caractère statique ou quasi statique pour des catégories d'usage A, B, C1, C2, C3 et D1 au sens de la norme NF EN 1991-1-1. Les utilisations sous charge pouvant entraîner des chocs ou des phénomènes de fatigue n'ont pas été étudiées dans le cadre de ce guide.

La reprise des cloisons maçonnées ou fragiles n'est pas traitée non plus. Les revêtements rigides (carrelages, par exemple) doivent être mis en place en pose désolidarisée sur un procédé faisant l'objet d'un Avis Technique visant les supports bois.

Les ouvrages enterrés en panneaux en bois lamellé croisé (CLT) sont également exclus du domaine d'application de ce guide ainsi que l'association en contreventement des panneaux avec des structures de rigidité très différente.

Les panneaux de bois lamellé-croisé, communément appelés CLT (cross-laminated timber) ou parfois panneaux massifs seront nommés « panneaux CLT » dans la suite du document.

Seules les associations suivantes sont visées :

- des panneaux CLT en murs et planchers ;

- des panneaux CLT en murs avec des planchers intermédiaires traditionnels en bois ;
- des murs maçonnés avec des planchers en CLT ;
- des murs maçonnés et CLT dans le même ouvrage avec des planchers CLT ou traditionnels en bois.

Le cas des planchers en béton sur murs CLT n'est pas traité.

Le domaine d'application 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.

Phase de conception et de réalisation de l'ouvrage – procédé et gestion des interfaces

2



Comme pour tous les procédés industrialisés, il est nécessaire de tenir compte des spécificités des ouvrages contenant des panneaux CLT le plus en amont possible dans la phase de conception. De plus, des informations spécifiques doivent être transmises entre les différents acteurs de la construction afin d'assurer une performance finale de l'ouvrage conforme aux attentes. Dans le présent paragraphe, nous n'indiquons que les spécificités liées aux panneaux CLT.



Dans le cas d'un ouvrage en panneaux CLT, les interfaces et transferts d'information habituels doivent impérativement être traités de manière anticipée afin de prévenir tout retard lors de la mise en œuvre.

2.1. • Phase de conception

Lors de la phase de conception, un certain nombre de choix doivent être réalisés et documentés afin que l'ensemble des acteurs de la construction de l'ouvrage dispose des informations utiles. Les informations spécifiques à un ouvrage en panneaux CLT devant être communiquées sont les suivantes :

- sélection des parties d'ouvrage en CLT : planchers, murs + planchers, support de couverture ou d'étanchéité, ensemble de l'ouvrage ou partie d'ouvrage ;
- choix des modes constructifs des ouvrages servant de support aux panneaux CLT en veillant notamment au respect de la garde au sol de 200 mm : fondations béton coulées en place, longrines préfabriquées ou premier niveau traditionnel en béton, bois ou métal ;

- choix des principes constructifs des ouvrages secondaires : Isolation intérieure ou extérieure, procédé de cloisons séparatives, présences de chapes sèches ou humide, plafond suspendus ;
- sélection des parois composées de panneaux CLT selon les qualités de finition proposées par le fabricant ;
- positionnement des réseaux devant être intégrés aux panneaux CLT ;
- définition des tolérances de dimensions des divers ouvrages.

Ces informations, en plus des informations habituelles (plans, charges...), sont rassemblées par la maîtrise d'œuvre et tenue à disposition de l'équipe d'exécution.

2.2. • Phase d'exécution

Les grandes phases d'un chantier du point de vue de la mise en œuvre des panneaux CLT sont présentées ci-après dans un ordre chronologique. Les spécificités propres aux panneaux CLT doivent être appréhendées dès les études d'exécution et la préparation du chantier

- Réalisation des études d'exécution tenant compte notamment du phasage de chantier décidé entre l'entreprise et le fabricant des panneaux ;
- Préparation du chantier : zones d'accès, de circulations, de déchargement et de stockages éventuels, implantation et capacité des moyens de levage. Cette préparation est à réaliser en concertation avec tous les acteurs intervenants sur l'ouvrage ;
- Calepinage par entreprise ;
- Fabrication des panneaux en usine ;
- Réalisation du plan de chargement précisant l'ordre de pose et le sens de pose ;
- Acceptation des supports ;
- Livraison des panneaux et montage ;
- Protection éventuelle des panneaux montés avant mise hors d'eau vis-à-vis des intempéries ainsi que des rayons UV pour les panneaux restant visibles.

Les travaux compris dans le lot concerné par la mise en œuvre des panneaux CLT sont décrits dans le paragraphe 6.2.1.

2.3. • Performances

Les performances que l'ouvrage final doit atteindre sont définies par la maîtrise d'œuvre en lien avec la réglementation et les exigences du

maître d'ouvrage. Ces performances sont communiquées à l'équipe d'exécution avec des propositions de solutions. L'atteinte des performances demandées dépend des performances intrinsèques des panneaux CLT mais également des ouvrages de second œuvre et des interfaces avec les autres parties d'ouvrage.

Les exemples de solution présentés dans le présent document ont été choisis pour assurer la compatibilité entre les performances notamment acoustiques, thermiques, hygrothermiques et étanchéité à l'air. D'autres solutions sont envisageables. La compatibilité des performances devant alors être étudiée.

Les interfaces essentielles entre éléments, traitées dans le reste du présent document, sont :

- la liaison avec l'ouvrage support : fondations ou premier(s) niveau(x). Cette interface aura un impact sur les performances mécaniques de l'ensemble de l'ouvrage ainsi que sur l'étanchéité à l'air à ce niveau ;
- la liaison avec les menuiseries principalement pour la performance d'étanchéité à l'air ;
- la liaison avec le procédé de couverture ou d'étanchéité pour assurer la protection à l'eau, la continuité des performances thermiques et hygrothermiques ;
- L'ensemble des liaisons devant être traitées pour la performance acoustique.

2.4. • *Interface entre lots*

Support

L'entreprise chargée de la réalisation des fondations ou premier(s) niveau(x) doit fournir une date d'intervention à celle chargée de la mise en œuvre des panneaux CLT. Cette date doit tenir compte :

- de la rapidité de montage des panneaux CLT. Cela implique généralement que le niveau support soit terminé sur l'ensemble de l'emprise du chantier avant de débiter le montage ;
- de la résistance des matériaux mis en œuvre au moment du démarrage du montage des panneaux CLT. Il s'agit par exemple de tenir compte du temps de séchage nécessaire au béton pour présenter une résistance suffisante.

Il est rappelé qu'au-delà des exigences de tolérances habituelles pour les ouvrages support indiquées dans le présent document, la qualité de ces ouvrages aura un impact significatif sur la rapidité d'exécution d'ensemble. La mise en place autocontrôle en cours d'exécution de la part de l'entreprise chargée de ces supports est donc recommandée.



Lorsque des structures mixtes sont mises en œuvre, comme des panneaux CLT avec une partie d'ouvrage en béton, il convient en plus de coordonner les systèmes de stabilité provisoire.

Mise hors d'eau

La coordination entre l'entreprise chargée de la mise en œuvre des panneaux CLT et celles chargées des bardages, couvertures et autres étanchéités extérieures sera également importante pour la qualité de l'ouvrage final. Une mise hors d'eau sans délai est à privilégier après le montage des panneaux CLT. Si un délai devait apparaître en cours de chantier, les panneaux CLT devront être protégés. Des exemples de solution sont proposés dans le présent document.

Réseaux

Lorsque des réseaux doivent être implantés dans l'épaisseur des panneaux CLT, il convient de l'anticiper au maximum afin que l'usine de préfabrication dispose de toutes les informations à temps. Les limites de dimensions des réservations et de cheminement sont rappelées dans le présent document précisées dans l'ATEC et/ou le DTA concerné ou, le cas échéant, par le fabricant dans sa documentation technique dès lors qu'elle ne contredit pas ce dernier. Les usinages complémentaires non prévus à la conception doivent faire l'objet d'une validation par la MOE si elle existe et après consultation de l'usine.

Second œuvre

La coordination entre le lot chargé des panneaux CLT et des lots de second œuvre concerne essentiellement le sujet des éléments de stabilité provisoire. En aucun cas les entreprises chargées des lots de second œuvre ne doivent retirer ces éléments de leur propre initiative. A ce stade d'un chantier ils peuvent notamment être nécessaires dans deux cas :

- lorsque la stabilité définitive est assurée par un autre ouvrage à construire ;
- lorsque des charges de stockage importantes sont prévues.

Pour ce dernier cas, les charges importantes peuvent provenir du stockage des éléments de second œuvre sur les planchers en panneaux CLT et peuvent être très significativement supérieures aux charges de calcul. Ces stockages doivent donc être prévus le plus en amont possible afin que l'entreprise chargée des panneaux CLT puisse en tenir compte. Le paragraphe (cf. 6.3.4) donne des indications concernant la stabilité provisoire. Au-delà de cette prise en compte, il est préférable de répartir les charges sur une surface maximum et de les rapprocher au plus près des murs porteurs. Dans tous les cas, la capacité portante du CLT considéré, au sens des Eurocodes, ne doit pas être dépassée par des chargements provisoires (phase chantier).

Matériaux ¹

3

■ ¹ Les informations fournies dans ce paragraphe sont des indications. Les Avis Techniques et DTA fournissent des informations précises pour chaque procédé.

3.1. • Bois

3.1.1. • Essences

Les essences de bois utilisables dépendent des fabricants et sont précisées dans les DTA ou ATEC concernés : il s'agit en général de pin et de sapin. Les planches constituant les panneaux sont nécessairement aboutées dans le sens de la portée.

Les panneaux CLT avec des couches composées d'éléments en panneaux à base de bois non massif (contreplaqué, panneaux de lamelles minces orientées, panneau de particules) ne sont pas visés dans ce document.

3.1.2. • Résistance mécanique des planches

Les planches en bois massif doivent être classées mécaniquement conformément à la norme NF EN 14081-1 et doivent être conformes aux spécifications de cette même norme en termes de dimensions.

Les principales caractéristiques mécaniques des panneaux CLT sont déterminées suivant les choix retenus par les fabricants :

- soit à partir des données géométriques des planches et des couches ainsi que des propriétés physiques et mécaniques des planches et des joints couplés à des essais de validation ;
- soit au moyen d'essais directement pour les principales caractéristiques en sollicitation sismique.

La méthode de calcul des résistances mécaniques du panneau CLT est adaptée en fonction de la composition et des propriétés des couches longitudinales et transversales, et en tenant compte de la fabrication. À titre d'exemple, il est considéré que le non aboutage de planches

transverses à la direction de portée ne permet pas de reprendre des efforts de flexion significatifs dans cette direction (ces planches sont donc non travaillantes et jouent un simple rôle d'écarteur !)

3.1.3. • Masse volumique

La masse volumique moyenne des panneaux doit être prise comme étant égale à la masse volumique moyenne des planches de la plus basse classe de résistance mécanique constituant une couche est celle déclarée par le fabricant en regard des compositions fabriquées.

La masse volumique caractéristique doit, elle, être prise comme étant égale à la masse volumique caractéristique des planches de la plus basse classe de résistance mécanique constituant une couche augmentée d'un facteur 1,1. Elle est déclarée par le fabricant au regard des compositions fabriquées.

Le tableau 1 de la norme EN 338 donne les propriétés de résistance, de rigidité et les masses volumiques pour les différentes classes de résistance.

3.1.4. • Variations dimensionnelles en fonction de l'humidité

Les dimensions des panneaux CLT sont influencées par les variations d'humidité.

Si l'humidité des panneaux diffère de l'humidité de référence, égale à 12 %, les dimensions corrigées doivent être déterminées.

3.1.5. • Humidité des bois

Lors de la réalisation des aboutages et du collage des couches, la teneur en humidité des lamelles doit être comprise entre 6 % et 15 %. Les exigences du fabricant de l'adhésif doivent aussi être prises en compte dans la plage d'humidité indiquée. La teneur en humidité entre lames contiguës, collées l'une à l'autre, ne doit pas différer de plus de 5 %.

Ce document ne couvre que les utilisations en classe de service 1 et 2 au sens de l'EN 1995-1-1 et son annexe nationale.

En classe de service 1 au sens de l'EN 1995-1-1 et de son annexe nationale, l'humidité moyenne des bois est stabilisée de 7 % à 13 %.

En classe de service 2 au sens de l'EN 1995-1-1 et de son annexe nationale, l'humidité moyenne des bois est stabilisée de 13 % à 20 % d'humidité.

3.1.6. • Durabilité et traitement

Les panneaux sont des éléments structurels conçus pour assurer selon l'Eurocode 0 une durée de vie de 50 ans pour les bâtiments courants. Ils peuvent cependant être utilisés pour des bâtiments provisoires.

Il est rappelé qu'en application de l'article R. 112-2 du Code de la construction et de l'habitation et de l'arrêté du 27 juin modifié, les éléments en bois qui participent à la solidité des structures des bâtiments neufs doivent être protégés :

- contre les insectes à larves xylophages sur l'ensemble du territoire ;
- contre les termites dans les départements dans lesquels a été publié un arrêté préfectoral pris conformément à l'article L. 133-5 du Code de la construction et de l'habitation.

Les classes d'emploi correspondent aux différentes situations en service auxquelles peuvent être exposés le bois et les matériaux à base de bois.

La durabilité des panneaux CLT vis-à-vis des agents biologiques (champignons, insectes à larves xylophages et termites) pour la classe d'emploi prévue telle que définie dans la NF EN 335-2013 est basée :

- soit sur la durabilité naturelle de l'essence conformément à la NF EN 350-2 ;
- soit sur un traitement de préservation dont les caractéristiques doivent être déclarées conformément à la NF EN 15228.

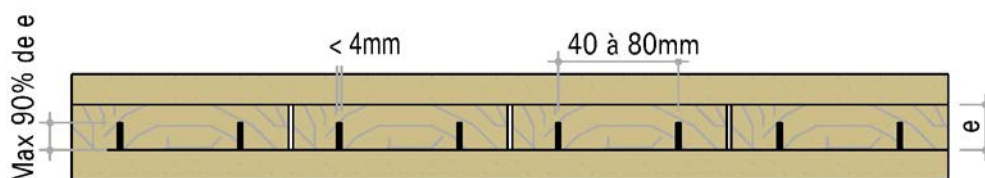
Si un traitement de préservation est nécessaire, il doit être réalisé en usine après façonnage des planches et une fois les découpes réalisées dans les panneaux. La compatibilité avec l'adhésif et l'influence du traitement sur les performances de l'adhésif devront être vérifiées selon les exigences des normes EN 301 et EN 15425.

Dans les cas où l'application d'un traitement d'ignifugation est demandée, il est nécessaire de posséder un procès-verbal de classement de réaction au feu et ses extensions sur le produit défini par le procès-verbal.

3.1.7. • Section et profil des planches

Les planches ont une épaisseur finie variant entre 6 mm et 45 mm et une largeur variant entre 40 et 300 mm à 12 % d'humidité. Pour les panneaux constitués de trois couches, les planches constitutives de la couche interne peuvent avoir une épaisseur finie jusqu'à 60 mm. Les épaisseurs courantes vont de 60 à 200 mm et peuvent aller au-delà.

Les planches constituant les panneaux peuvent être aboutées et/ou collées à champ. Les lamelles peuvent être rainurées afin de réduire le tuilage et la fissuration, dans la limite de 90 % de l'épaisseur de la lamelle et avec une largeur maximale de 4 mm. L'écartement entre rainures pourra varier entre 40 et 80 mm.



▲ Figure 1 : Exemple de rainurage

La distance entre les rainures au sein d'une même lamelle et celle entre les rainures et les bords des planches doivent être supérieures à 40 mm. La largeur finie doit être inférieure ou égale à 300 mm.

3.2. • Adhésifs

3.2.1. • Collage des plis et aboutage

Les adhésifs doivent permettre la réalisation de joints de collage fiables et durables au sein des panneaux CLT.

Pour le collage des plis, les adhésifs devront être conformes à la NF EN 15425 (2008), tableau 1, ou à la NF EN 301 (2006), tableau 1. Ils pourront être de type I ou II pour une utilisation en classe de service 1 et 2.

Pour les collages en rive entre les lamelles, les collages entre couches et les aboutages à entures multiples dans les lamelles, les adhésifs suivants peuvent être utilisés :

- adhésifs de nature phénolique et aminoplaste selon l'EN 301 ;
- adhésifs polyuréthane monocomposants durcissant à l'humidité selon l'EN 15425 ;
- adhésifs à base d'isocyanate et de polymère en émulsion selon l'EN 15425 ;
- adhésifs sous agrément technique européen.

Pour les aboutages à entures multiples de grandes dimensions, les adhésifs cités ci-dessus sont applicables à l'exception des adhésifs à base d'isocyanate et de polymère en émulsion.

3.2.2. • Comptabilité avec le matériau

L'adhésif mis en œuvre devra satisfaire aux exigences de performance énoncées dans les normes EN 301 et EN 15425 en fonction du matériau, du traitement de préservation ou d'ignifugation mis en œuvre.

3.3. • Organes de fixation

3.3.1. • Généralités

Les matériaux et organes de fixation peuvent être choisis conformément à la NF DTU 31.2 P1-2, § 7. Sont notamment utilisés :

- les pointes non lisses, agrafes, vis, tire-fonds, boulons, tiges filetées et broches conformes à la norme NF EN 14592 ;
- les crampons et anneaux métalliques conformes à la norme NF EN 14545 ;
- les chevilles métalliques, boîtiers, étriers et équerres métalliques ou tout autre système de fixation bénéficiant d'une Évaluation Technique Européenne ;
- les assemblages fabriqués sur mesure doivent être réalisés à partir d'aciers de nuance et de qualité conventionnelles définies dans la norme NF EN 10025-1 à 6, compatibles avec les règles définies par les Eurocodes 3 et 5 (normes NF EN 1993-1-1 et NF EN 1995-1-1).

La justification de la résistance des assemblages doit être effectuée selon les exigences de la norme NF EN 1995-1-1.

Les éléments en LVL utilisés pour la réalisation des assemblages entre panneaux doivent être conformes à la norme NF EN 14374 ou à la NF EN 14279 et posséder le marquage CE. Les éléments en contreplaqué utilisés pour la réalisation des assemblages entre panneaux doivent être conformes à la NF EN 13986 et posséder le marquage CE.

Pour la compatibilité entre les éléments constitutifs de la fixation et l'élément bois à assembler, on se réfère au tableau (Tableau 1) :

▲ **Tableau 1** : Compatibilité entre les matériaux de fixation et le bois

Matériaux	Zinc	Cuivre	Alu	Plomb	Acier inox	Acier galva- nisé	Acier	Acier peint
Sapin Pin Peuplier	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Chêne Châtaignier Douglas	Non	Oui	Non	Non	Selon qualité inox	Oui ⁽¹⁾	Oui	Oui

1. De préférence, se limiter à la classe de service 2 ou prévoir une étude spécifique.

3.3.2. • Fixations au soubassement

La fixation au soubassement est effectuée à l'aide d'un élément de fixation parmi ceux décrit au paragraphe (cf. 4.5).

Les détails de distance au bord de la dalle béton et d'espacement entre les fixations sur la dalle en conformité avec les spécifications techniques sont à fournir. Les modalités de gestion de la reprise des

tolérances et des joints de dilatation du gros œuvre sont également à préciser.

Les éléments de structure à base de bois doivent être protégés des remontées d'humidité par capillarité. La fixation mécanique au soubassement doit être associée à des dispositifs empêchant les remontées capillaires suivant les exigences du § 6.1 de la NF DTU 31.2 P1-2. On pourra utiliser :

- des feuilles à base de bitume modifié SBS, d'épaisseur minimale 2 mm, grésée deux faces, conformes à la norme NF EN 14967 et présentant une résistance à la déchirure au clou minimale de 120 N exprimée suivant la norme NF EN 12310-1 ;
- des feuilles plastique ou élastomère contre les remontées capillaires dans les murs, conformes à la norme NF EN 14909 (type A), résistantes aux agents alcalins et présentant une résistance à la déchirure au clou minimale de 120 N exprimée suivant la norme NF EN 12310-1 ;
- ou tout autre matériau de performance à l'usage équivalente faisant l'objet d'un Avis Technique (ou d'un document technique d'application) visant favorablement leur emploi dans le domaine considéré.

Un calfeutrement garantissant l'étanchéité à l'air entre le soubassement et le panneau CLT bois ou la lisse basse doit être mis en œuvre selon l'annexe A du DTU 31.2.

Les matériaux pour joints en mousse imprégnées sont définis par la norme NF P 85-570.

3.3.3. • Protection des assemblages

Les matériaux des organes de fixation devront satisfaire aux exigences de l'EN 1995-1-1. Le choix de la protection des matériaux pour un usage en classe de service 1 et 2 et en fonction du type de fixation ou d'assemblage se fait comme indiqué au § 7.2 de la NF DTU 31.2 P1-2. Des exemples de disposition concernant le choix des matériaux ou de la protection vis-à-vis de la corrosion pour les assemblages sont présentés ci-dessous.

▲ Tableau 2 : Protection des assemblages

Assemblages	Classes de service ⁽¹⁾	
	1	2
Pointes, vis et tire-fonds avec $\varnothing \leq 4$ mm	Rien	Fe/Zn 12c Z275 ⁽²⁾
Boulons, broches, pointes, vis et tire-fonds avec $\varnothing \geq 4$ mm	Rien	Rien
Agrafes	Fe/Zn 12c Z275 ⁽²⁾	Fe/Zn 12c Z275 ⁽²⁾
Plaques métalliques embouties et plaques à clous d'épaisseur ≤ 3 mm	Fe/Zn 12c Z275 ⁽²⁾	Fe/Zn 12c Z275 ⁽²⁾

Assemblages	Classes de service ⁽¹⁾	
	1	2
Plaques métalliques d'épaisseur comprises entre 3 mm et 5 mm	Rien	Fe/Zn 12c Z275 ⁽²⁾
Plaques métalliques d'épaisseur > 5 mm	Rien	Rien
1. Pour des conditions particulièrement corrosives, il convient d'envisager le Fe/Zn 40, un revêtement par galvanisation à chaud et par shérardisation, ou de l'acier inoxydable. 2. Revêtement par galvanisation à chaud conforme à la NF EN 10346.		

Les matériaux de fixation et d'assemblage recevant une protection électrolytique doivent être conformes à la norme NF EN ISO 4042.

Les matériaux de fixation et d'assemblage recevant un revêtement par galvanisation à chaud doivent être conformes à la norme NF EN 10346.

Les matériaux de fixation et d'assemblage recevant un revêtement par shérardisation doivent être conformes à la norme NF EN 13811.

Les matériaux de fixation et d'assemblage en acier inoxydable doivent être conformes à la norme NF EN 10088-3.

3.4. • Menuiseries

Les menuiseries et leur mise en œuvre s'appuient 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 un 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 de la circulation de l'aération de la lame d'air sous le parement extérieur.

3.5. • Finitions

3.5.1. • Revêtements extérieurs

Les revêtements extérieurs doivent respecter les prescriptions suivantes :

- les revêtements extérieurs en bois, en panneaux de contreplaqué avec finitions, les bardeaux de bois et leur mise en œuvre doivent être conformes aux prescriptions de la NF DTU 41.2 ;
- les murs de doublage en maçonnerie avec lame d'air doivent être conformes à la NF DTU 20,1 ;
- le bardage rapporté en bardeaux bitumés doivent être conformes à la NF DTU 40,14 ;
- le bardage rapporté en ardoises naturelles doit être conforme à la NF DTU 40,11 ;
- le bardage rapporté en ardoises en fibres-ciment doit être conforme à la NF DTU 40,13 ;
- le bardage rapporté en feuilles de zinc supportées doit être conforme à la NF DTU 40,41 ;
- le bardage rapporté en feuilles d'acier inoxydable supportées doit être conforme à la NF DTU 40,44 ;
- le bardage rapporté en plaques métalliques à nervures verticales doit être conforme à la NF DTU 40,35 et aux règles professionnelles « bardage métallique » du SNPPA (janvier 1981) ;
- les bardages rapportés selon d'autres techniques que celles détaillées ci-dessus doivent suivre les prescriptions de l'Avis Technique ou du document technique d'application du procédé de bardage rapporté.

Les revêtements de type bardage rapporté sont mis en œuvre comme sur les structures en bois, par le biais de tasseaux fixés sur les montants par vissage. Les bardages de type XIII et XIV sont utilisables.

3.5.2. • Revêtements intérieurs

Les plaques de parement en plâtre doivent satisfaire à la norme NF EN 520 et répondre aux spécifications complémentaires définies par la NF DTU 25.41. Les plaques de plâtre pour usage intérieur en milieu humide doivent satisfaire au minimum aux exigences de la norme NF EN 520, type H1.

Les plaques en fibres-ciment doivent satisfaire à la norme NF EN 12467, avec les exigences des plaques utilisées en aménagement intérieur (cloisons, plafonds) : catégorie B ou C, classes 1-2-3-4-5.

Les complexes d'isolation thermique intérieurs de type plaque de plâtre avec isolant doivent satisfaire à la norme NF EN 13950 et font l'objet d'un document technique d'application.

Les revêtements intérieurs de type lambris sont réalisés à partir de bois non structuraux qui doivent satisfaire à la norme NF EN 942.

En l'absence de données définies par le cahier des clauses techniques particulières (CCTP) et/ou par des normes de produit (lames à parquet, lambris, etc.), les classements d'aspect des bois sciés non

structuraux visibles sont définis par la norme NF EN 1611-1 pour les principaux résineux et par la norme NF EN 975 pour les principaux feuillus. Les classements d'aspect des bois ronds visibles sont définis par les normes NF EN 1927-1 à 3 pour les principaux résineux et NF EN 1316-1 à 3 pour les principaux feuillus. Si les bois de menuiserie comportent des aboutages, leur collage doit résister à l'humidité et les colles utilisées doivent être conformes à la norme NF EN 204.

3.5.3. • Peintures et lasures

Les produits de type lasure ou peinture à usage extérieur doivent répondre à la définition et à la classification spécifiées par la norme NF EN 927-1. Il y a lieu de s'assurer de la compatibilité de la finition avec le produit de traitement.

En ce qui concerne leur mise en œuvre, les préconisations d'emploi données par la fiche technique du produit doivent être en adéquation avec :

- les normes NFT34-202 et EN 927-1 ;
- les prescriptions de la norme NF P74-201-1 et NF P74-201-2 (DTU 59-1) relatives à la préparation des supports et à l'application du produit pour des supports en bois.

3.5.4. • Sous-faces et revêtements de plancher

Les plafonds suspendus et tendus doivent être conformes aux prescriptions des NF DTU 58.1 et 58.2.

Les revêtements de plancher doivent être conformes aux normes suivantes :

- chapes et dalles à base de liants hydrauliques selon la NF DTU 26.2 ;
- mise en œuvre des sous-couches isolantes sous chape ou dalle flottantes et sous carrelage scellé selon la NF P61-203 ;
- planchers flottants selon la NF DTU 51.1 et 51.11 ;
- revêtements céramiques et assimilés – Pierres naturelles en pose collée selon la NF DTU 52.2 ;
- revêtements de sols textiles selon la NF DTU 53.1 ;
- revêtements de sols PVC collés selon la NF DTU 53.2 ;
- revêtements de sols coulés à base de résine de synthèse selon la NF DTU 54.1.

Conception et dimensionnement

4



4.1. • Performances thermiques et énergétiques

Les schémas présentés dans le présent paragraphe sont des coupes de principe. La conception de la paroi doit tenir compte également des indications des paragraphes pertinents du présent document (comme la nécessité d'implanter un pare-vapeur par exemple).

4.1.1. • Contexte réglementaire

4.1.1.1. • Réglementation thermique dans le neuf

L'application de la RT 2012 couverte par les arrêtés du 26 octobre 2010 et du 28 décembre 2012 s'échelonne selon les catégories et l'usage des bâtiments entre le 27 octobre 2011 et le 1^{er} janvier 2013.

4.1.1.2. • Respect des exigences globales

La RT 2012 fixe des exigences globales à ne pas dépasser sur le besoin bioclimatique (Bbio), les ponts thermiques (ratio ψ), la perméabilité à l'air, la consommation en énergie primaire (CEP) et la température intérieure de confort (TIC). Le ratio ψ est une valeur moyenne des ponts thermiques de liaison ramenée à la surface hors œuvre nette de la RT 2012 ($SHON_{RT}$).

4.1.1.3. • *Respect des exigences minimales et valeurs limites concernant le procédé*

La RT 2012 ne fixe pratiquement plus d'exigences à l'échelle des parois, mais conserve une exigence minimale sur le pont thermique du plancher intermédiaire.

Les panneaux CLT sont soumis aux exigences minimales synthétisées dans le (Tableau 3).

▲ Tableau 3 : Exigences réglementaires RT 2012 concernant les panneaux CLT

RT 2012	Exigences minimales		
	U en W/(m².K)	ψ en W/(m.K)	R en m².K/W
	–	ψ ≤ 0,6 pour les planchers intermédiaires	–

4.1.2. • Performances thermiques intrinsèques du procédé

La performance thermique intrinsèque des ouvrages comportant des panneaux CLT est caractérisée par un coefficient de transmission thermique surfacique U_p s'exprimant en W/(m².K). Le terme de « résistance thermique » (R) étant généralement employé pour caractériser une couche homogène de matériau constituant une paroi.

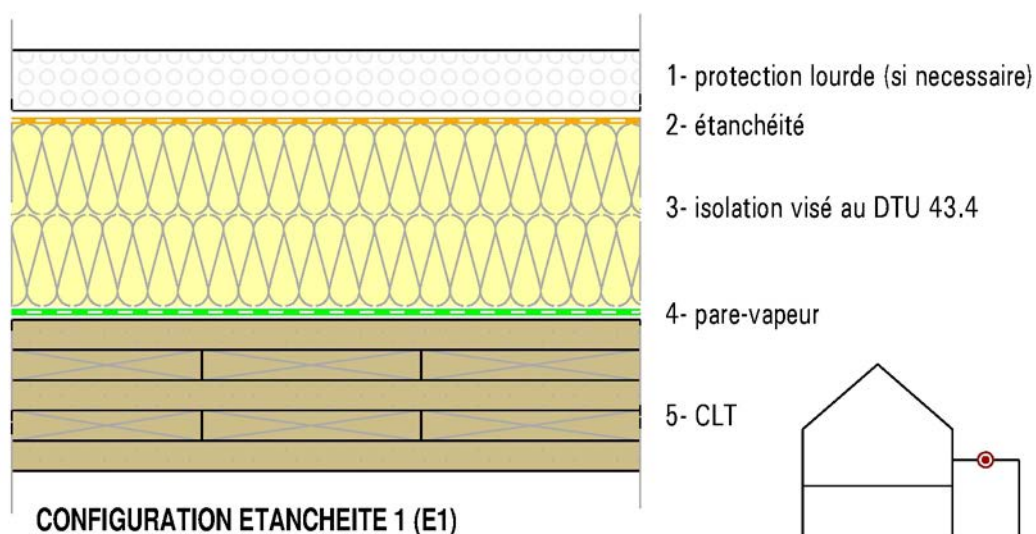
4.1.2.1. • Introduction

Les paramètres pouvant impacter de façon importante la performance thermique des ouvrages comportant des panneaux CLT sont avant tout le type d'isolant et son épaisseur. Selon le type de paroi, les éléments de fixation de l'isolant au panneau (vis, par exemple) ainsi que les autres éléments structuraux (pannes, chevrons, etc.) ont également un impact.

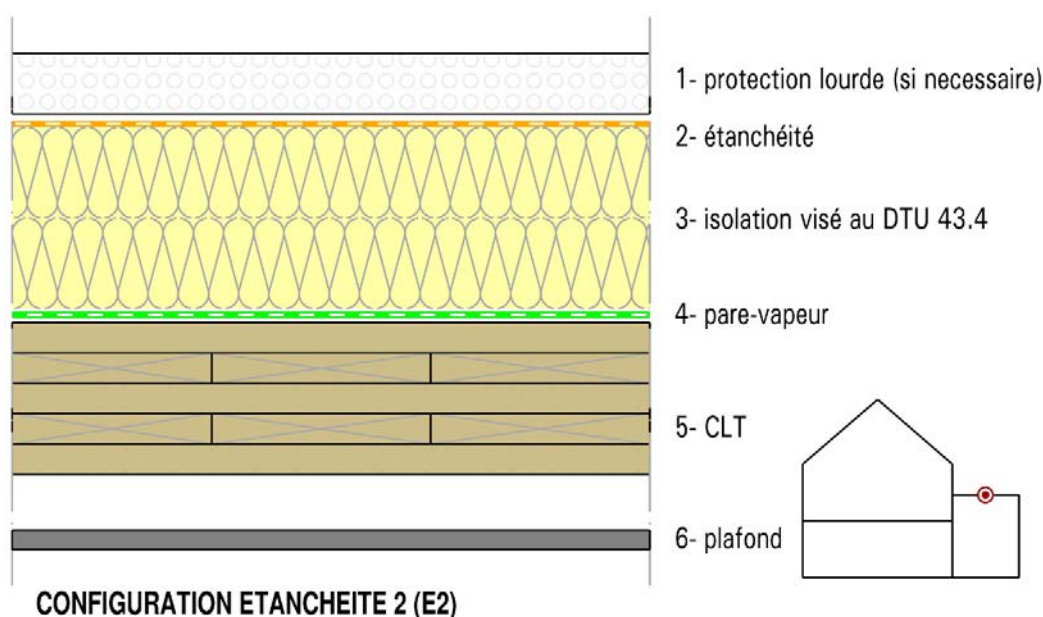
Les méthodes suivantes sont valables pour des panneaux CLT ayant une masse volumique normale moyenne inférieure à 500 kg/m³. En pratique, cela concerne les essences visées dans le présent document (cf. 3.1). Les valeurs sont valables pour des épaisseurs de CLT comprises entre 70 et 250 mm pour les parois verticales et 100 et 250 mm pour les planchers.

4.1.2.2. • Méthodes de calcul

Toiture-terrasse conforme au DTU 43.4 (cas E1 et E2)



▲ Figure 2 : Représentation graphique du cas E1



▲ Figure 3 : Représentation graphique du cas E2

Pour une toiture-terrasse sans fixations ponctuelles traversant l'isolant, le coefficient de transmission thermique surfacique du plancher haut intégrant un panneau CLT se calcule à partir de la formule suivante :

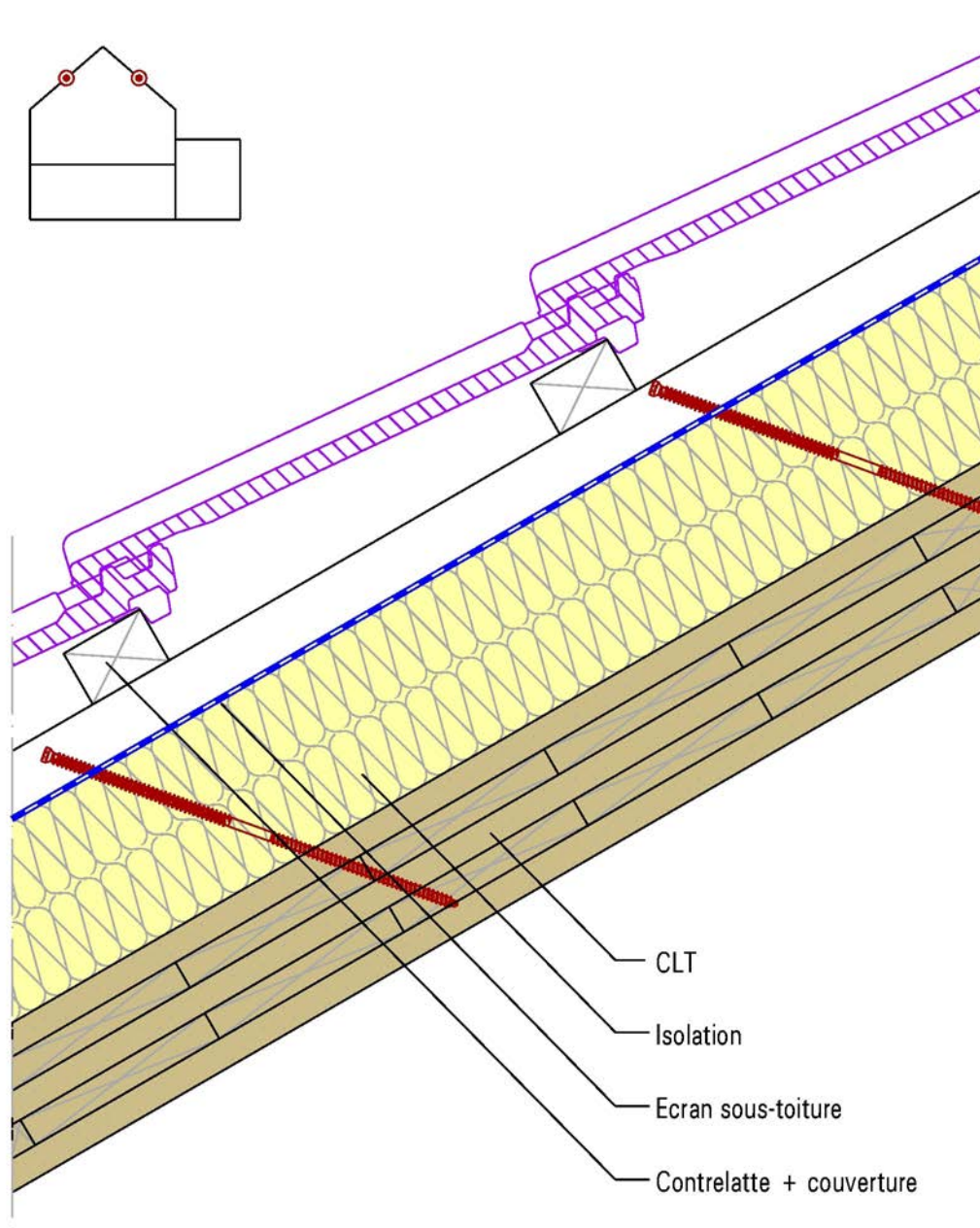
$$Up = \frac{1}{0,14 + \frac{e_{CLT}}{0,13} + R_{isolant}}$$

où :

$R_{isolant}$: résistance thermique utile de l'isolant, en $m^2.K/W$;

e_{CLT} : épaisseur de panneau CLT, en m.

Toiture avec sarking sur panneaux CLT (cas C1)



CONFIGURATION COUVERTURE 1 (C1)

▲ Figure 4 : Représentation graphique du cas C1

Le coefficient de transmission thermique surfacique du plancher haut intégrant un panneau CLT se calcule à partir de la formule suivante :

$$Up = \frac{1}{0,2 + \frac{e_{CLT}}{0,13} + R_{isolant}} + n.\chi$$

où :

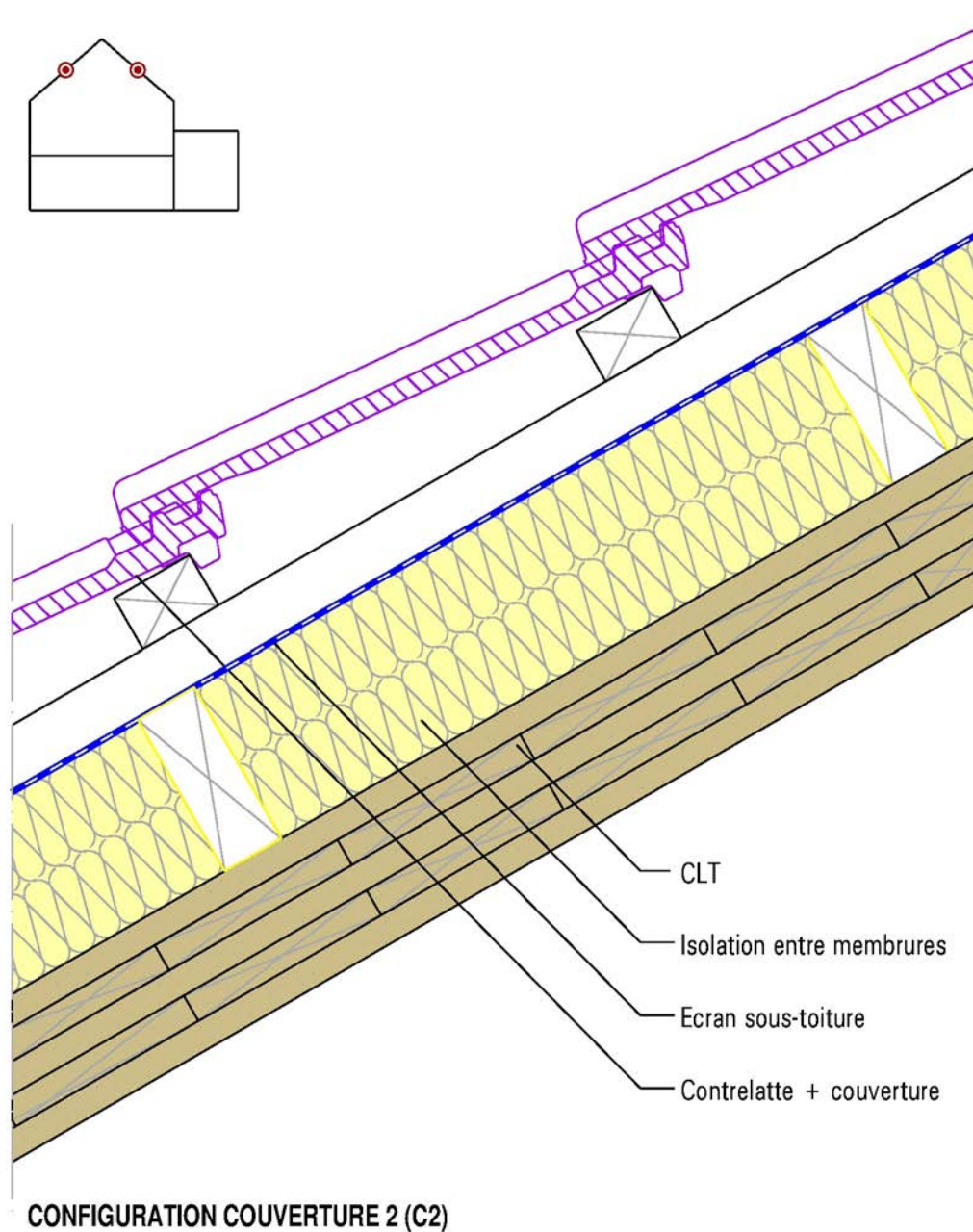
$R_{isolant}$: résistance thermique utile de l'isolant, en $m^2.K/W$;

e_{CLT} : épaisseur de panneau CLT, en m ;

n : densité de fixation, par m^2 ;

χ : coefficient de transmission thermique ponctuel dû à la fixation et obtenu à partir du (Tableau 4).

Couverture sur ossature fixée sur panneaux CLT (cas C2)



▲ Figure 5 : Représentation graphique du cas C2

Pour des pannes de largeur inférieure ou égale à 10 cm, le coefficient de transmission thermique surfacique du plancher haut intégrant un panneau CLT se calcule à partir de la formule suivante :

$$U_p = \frac{1}{0,2 + \frac{e_{CLT}}{0,13} + R_{isolant}} + \frac{\Psi_p}{E_p}$$

où :

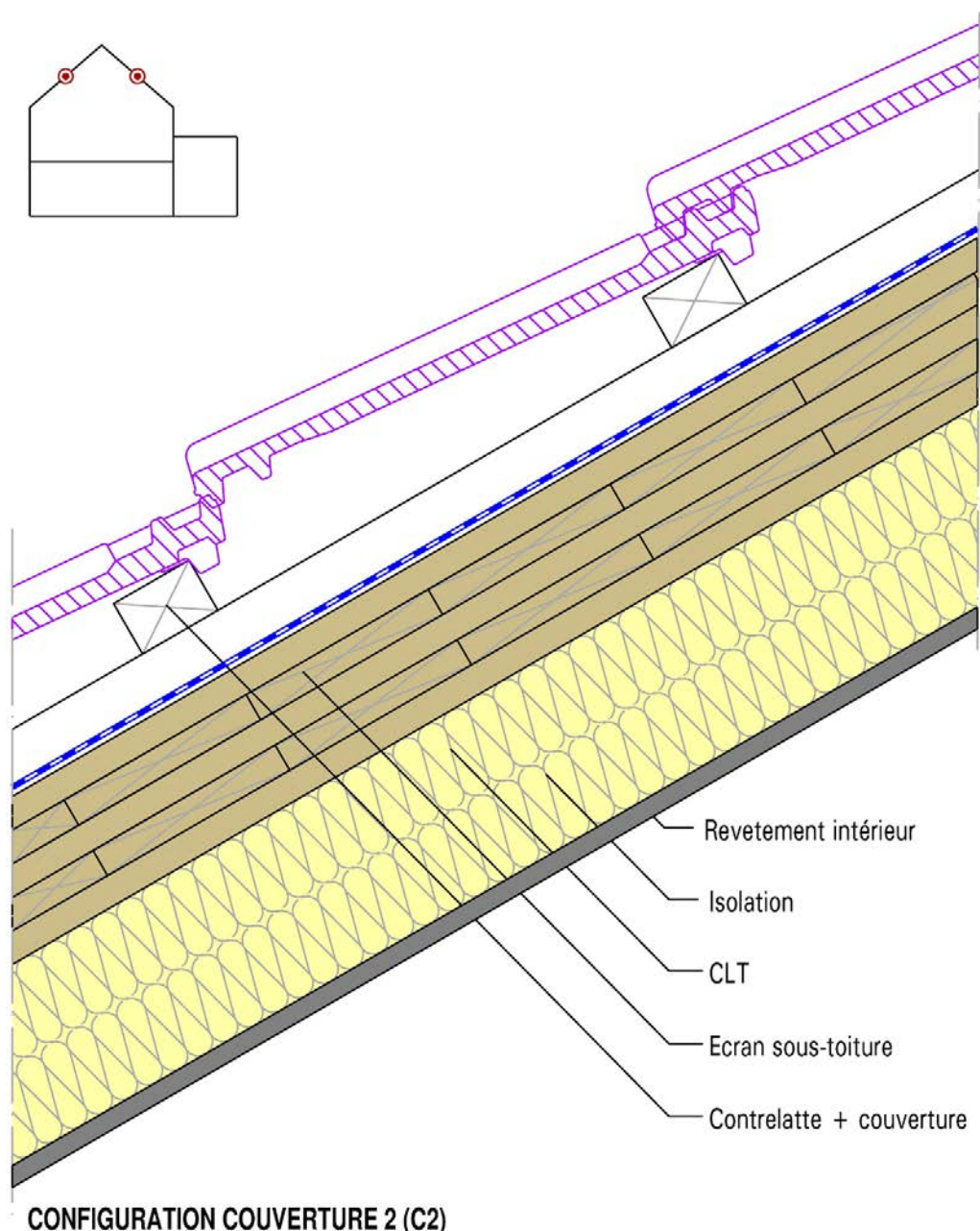
$R_{isolant}$: résistance thermique utile de l'isolant, en $m^2.K/W$;

e_{CLT} : épaisseur de panneau CLT, en m ;

Ψ_p : coefficient de transmission thermique linéique de pont thermique dû à la panne, déterminé à partir du (cf. 4.1.3) ;

E_p : entraxe entre pannes, en m.

Toiture isolée par l'intérieur sur ossature fixée sur panneaux CLT (cas C3)



▲ Figure 6 : Représentation graphique du cas C3

Le coefficient de transmission thermique surfacique du plancher haut intégrant un panneau CLT se calcule à partir de la formule suivante :

$$U_p = \frac{1}{0,2 + \frac{e_{CLT}}{0,13} + R_{isolant}} + \frac{\Psi_{rail}}{E_{rail}} + \frac{\chi_{susp}}{E_{rail} \times E_{susp}}$$

où :

$R_{isolant}$: résistance thermique utile de l'isolant, en $m^2.K/W$;

e_{CLT} : épaisseur de panneau CLT, en m ;

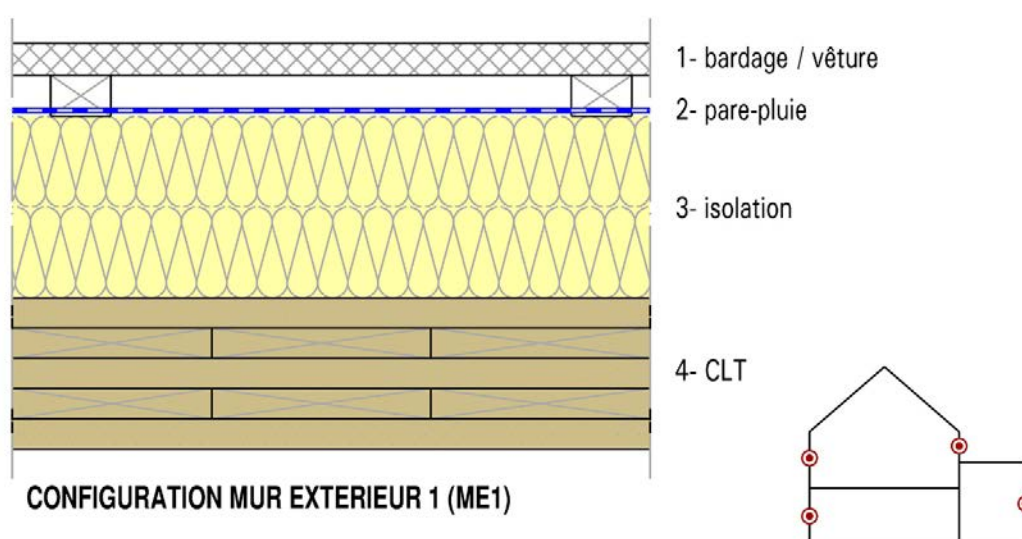
ψ_{rail} : coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique dû au rail métallique de fixation (fourrure), déterminé à partir du (Tableau 5) ;

E_{rail} : entraxe entre rails métallique de fixation, en m ;

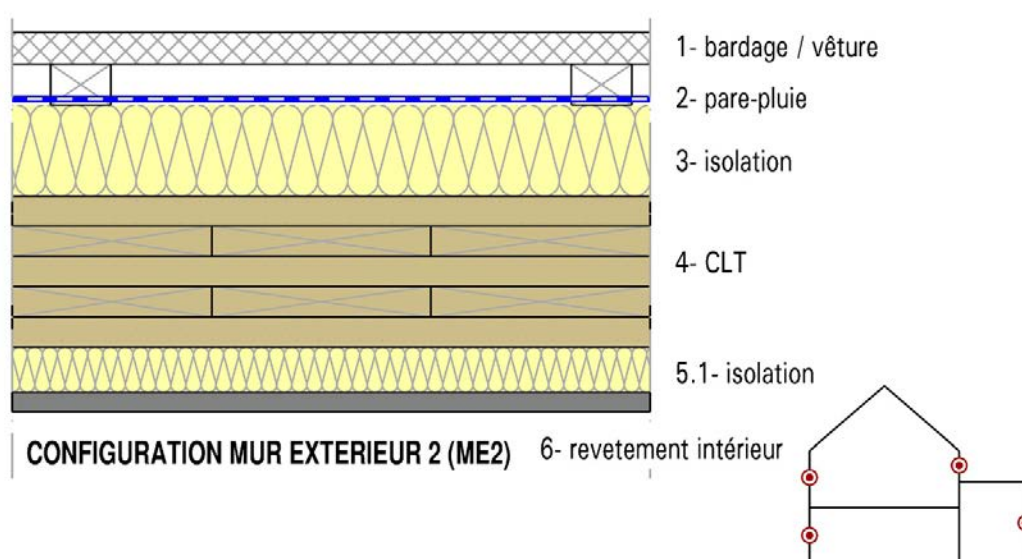
χ_{susp} : coefficient de transmission thermique ponctuel du pont thermique dû à la suspen-
sion, déterminé à partir du (Tableau 5) ;

E_{susp} : entraxe moyen entre suspentes sur un rail métallique de fixation, en m.

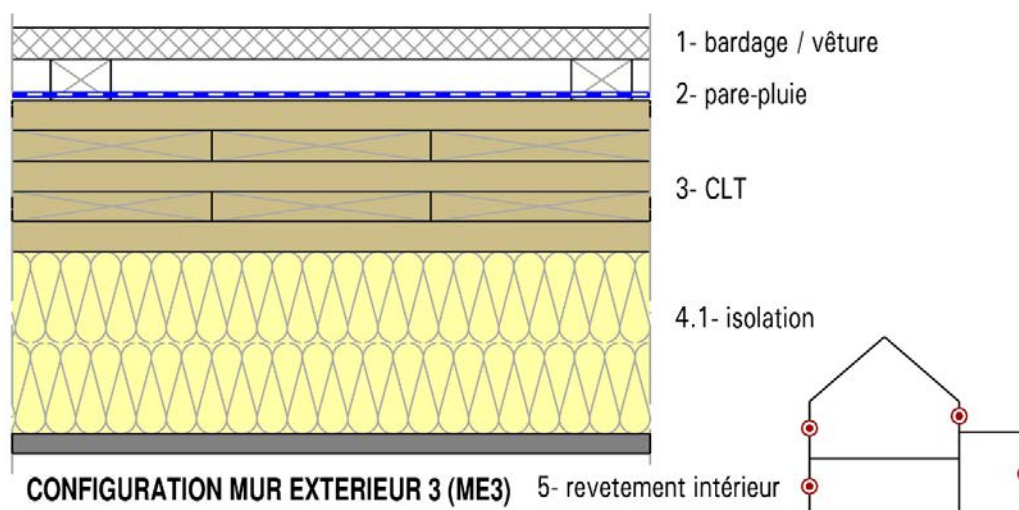
*Murs donnant sur extérieur isolé par bardage,
doublage intérieur ou mixte (cas ME1, ME2 et ME3)*



▲ Figure 7 : Représentation graphique du cas ME1



▲ Figure 8 : Représentation graphique du cas ME2



▲ Figure 9 : Représentation graphique du cas ME3

Le coefficient de transmission thermique surfacique du mur intégrant un panneau CLT se calcule à partir de la formule suivante :

$$U_p = \frac{1}{0,26 + \frac{e_{CLT}}{0,13} + R_{isolant}} + \frac{\Psi_{chev}}{E_{chev}} + \frac{\Psi_{montant}}{E_{montant}} \frac{L_{fract} \cdot \Psi_{fract}}{A_p} + \frac{\chi_{patte}}{E_{patte} \times E_{chev}}$$

où :

$R_{isolant}$: résistance thermique utile de l'isolant, en $m^2.K/W$;

e_{CLT} : épaisseur de panneau CLT, en m ;

Ψ_{chev} : coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique dû aux chevrons du bardage métalliques ou en bois (cas ME1 et ME2), déterminé à partir du (Tableau 6) ;

E_{chev} : entraxe entre chevrons du bardage métalliques ou en bois (cas ME1 et ME2), en m ;

$\Psi_{montant}$: coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique dû au montant d'ossature de l'isolation intérieure (cas ME2 et ME3), déterminé à partir du (Tableau 6) ;

$E_{montant}$: entraxe entre montants d'ossature de l'isolation intérieure (cas ME2 et ME3), en m ;

Ψ_{fract} : coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique dû au dispositif de fractionnement de la lame d'air (cas ME1 et ME2), déterminé à partir du (Tableau 6) ;

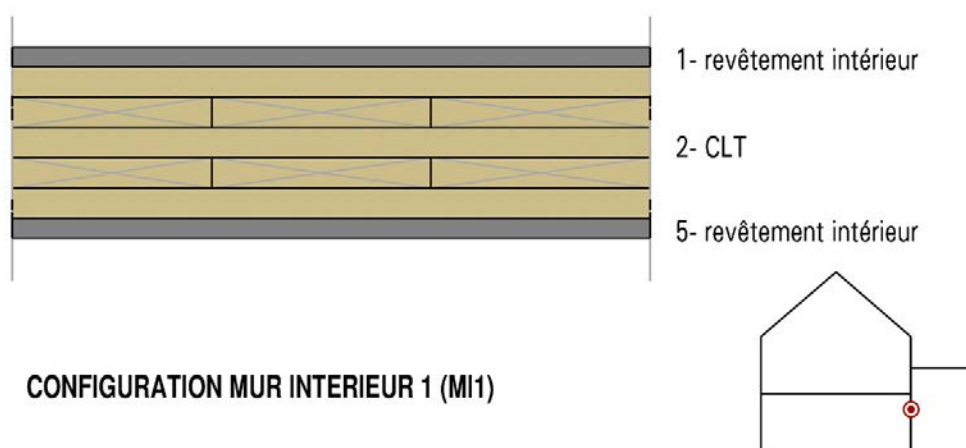
L_{fract} : linéaire total du dispositif de fractionnement de la lame d'air (cas ME1 et ME2), en m ;

A_p : surface totale de la paroi, en m^2 ;

χ_{patte} : coefficient de transmission thermique ponctuel du pont thermique dû à la patte de fixation du bardage (cas ME1 et ME2), déterminé à partir du (Tableau 6) ;

E_{patte} : entraxe moyen entre pattes de fixation sur un chevron de bardage (cas ME1 et ME2), en m.

*Murs donnant sur un local non chauffé,
isolant inséré entre panneaux CLT (cas MI2)*



▲ Figure 10 : Représentation graphique du cas MI1

Le coefficient de transmission thermique surfacique du mur intégrant un panneau CLT se calcule à partir de la formule suivante :

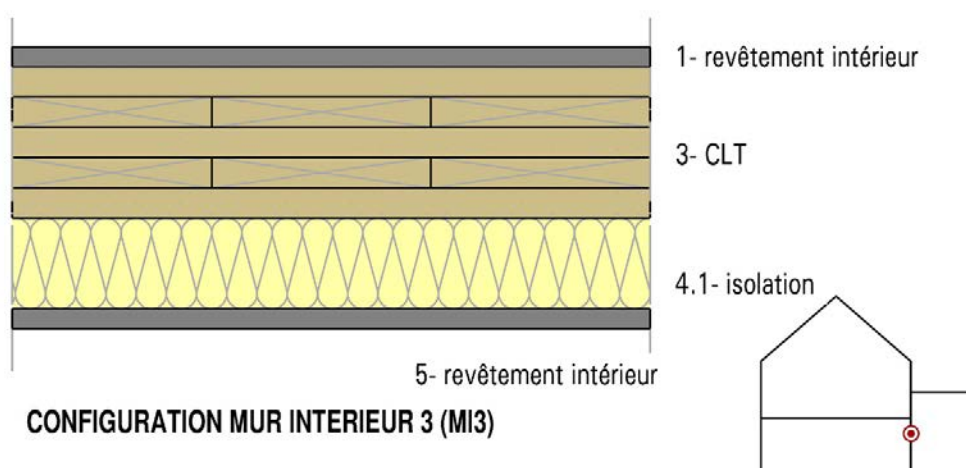
$$U_p = \frac{1}{0,26 + \frac{e_{CLT}}{0,13} + R_{isolant}}$$

où :

$R_{isolant}$: résistance thermique utile de l'isolant, en $m^2.K/W$;

e_{CLT} : épaisseur totale des deux panneaux CLT, en m.

*Murs donnant sur un local non chauffé,
isolant fixé mécaniquement (cas MI3)*



▲ Figure 11 : Représentation graphique du cas MI3

Le coefficient de transmission thermique surfacique du mur intégrant un panneau CLT se calcule à partir de la formule suivante :

$$U_p = \frac{1}{0,26 + \frac{e_{CLT}}{0,13} + R_{isolant}} + \frac{\Psi_{montant}}{E_{montant}}$$

où :

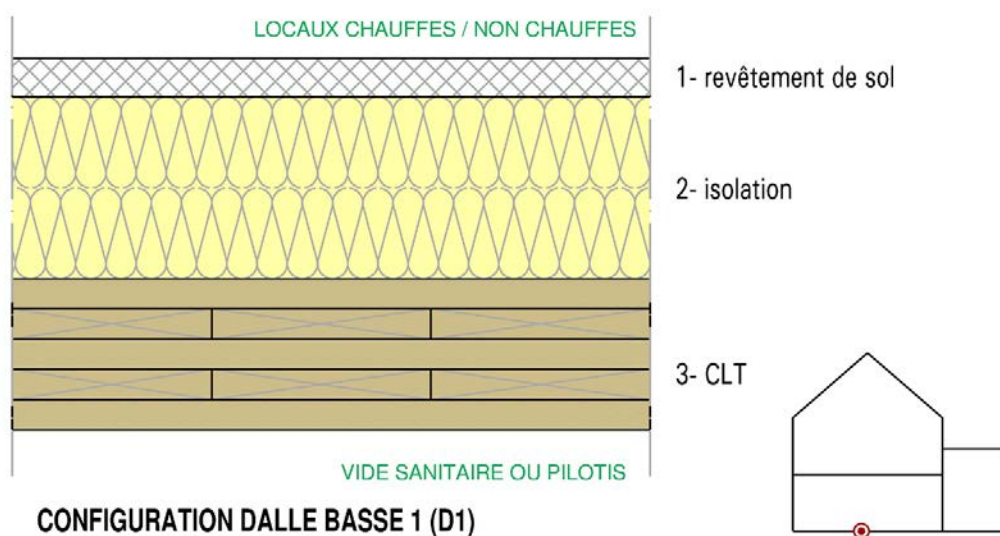
$R_{isolant}$: résistance thermique utile de l'isolant, en $m^2.K/W$

e_{CLT} : épaisseur totale des deux panneaux CLT, en m

$\Psi_{montant}$: coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique dû au montant d'ossature de l'isolation intérieure, déterminé à partir du (Tableau 7).

$E_{montant}$: entraxe entre montants d'ossature de l'isolation intérieure, en m.

Planchers bas sur vide sanitaire isolé sous chape (cas D1)



▲ Figure 12 : Représentation graphique du cas D1

Le coefficient de transmission thermique surfacique du plancher intégrant un panneau CLT se calcule à partir de la formule suivante :

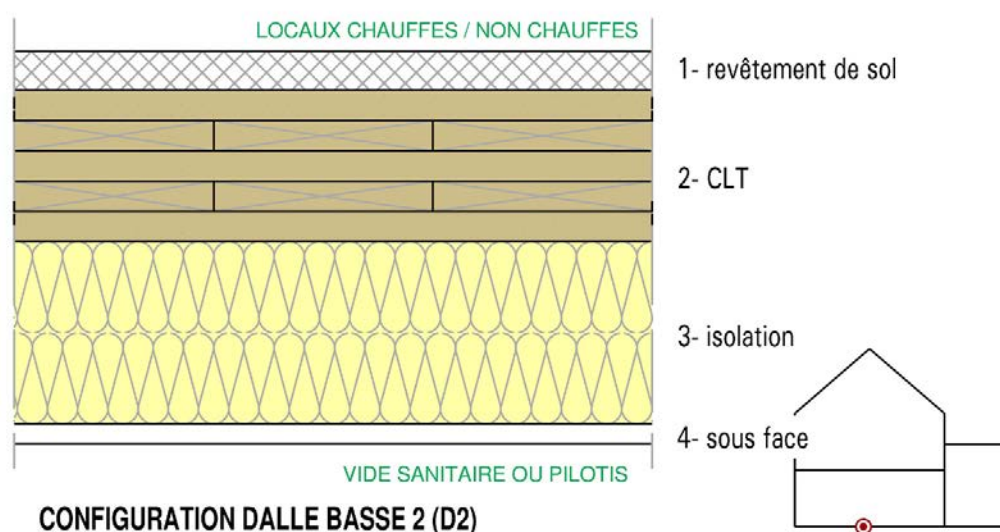
$$U_p = \frac{1}{0,37 + \frac{e_{CLT}}{0,13} + R_{isolant}}$$

où :

$R_{isolant}$: résistance thermique utile de l'isolant, en $m^2.K/W$;

e_{CLT} : épaisseur totale des deux panneaux CLT, en m.

Planchers bas sur vide sanitaire isolé en sous-face (cas D2)



▲ Figure 13 : Représentation graphique du cas D2

Le coefficient de transmission thermique surfacique du plancher intégrant un panneau CLT se calcule à partir de la formule suivante :

$$U_p = \frac{1}{0,37 + \frac{e_{CLT}}{0,13} + R_{isolant}} + \left(\frac{1}{l} + \frac{1}{L} \right) \cdot \Psi_j + n_f \cdot \chi_f$$

où :

$R_{isolant}$: résistance thermique utile de l'isolant, en $m^2.K/W$;

e_{CLT} : épaisseur totale des deux panneaux CLT, en m ;

l : largeur des panneaux isolants utilisés, en m ;

L : longueur des panneaux isolants utilisés, en m ;

Ψ_j : coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique dû aux joints entre panneaux isolants, déterminé au (cf. 2.3.7) ;

n_f : densité de fixation par m^2 ;

χ_f : coefficient de transmission thermique ponctuel du pont thermique dû aux fixations métalliques, déterminé au (cf. 4.1.3).

4.1.3. • Valeurs précalculées des ponts thermiques intégrés

Les coefficients Ψ_j et χ_f doivent être déterminés par calcul numérique selon le chapitre II du fascicule 5/5 des règles Th-bât ou, plus généralement, selon la norme NF EN ISO 10211. En l'absence d'un calcul spécifique correspondant au système étudié, les valeurs de ponts thermiques forfaitaires données ci-après peuvent être utilisées.

4.1.3.1. • Toiture avec sarking sur panneaux CLT (cas C1)

▲ **Tableau 4** : Coefficients de transmission thermique ponctuels χ dus à la fixation pour une toiture sarking

R utile isolant	χ en W/K			
	Diamètre des fixations			
	5 mm	6 mm	7 mm	8 mm
3 m ² .K/W	0,005	0,005	0,006	0,007
5 m ² .K/W	0,003	0,004	0,004	0,005

4.1.3.2. • Couverture sur ossature fixée sur panneaux CLT (cas C2)

Le coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique dû à la panne reste sensiblement égal à $\psi_p = 0,05$ W/(m.K) pour les gammes d'isolants couramment utilisés en toiture ($R > 3$ m².K).

4.1.3.3. • Toiture isolée par l'intérieur sur ossature fixée sur panneaux CLT (cas C3)

▲ **Tableau 5** : Coefficients de transmission thermique linéique ψ et ponctuel χ dus aux rails métalliques et aux suspentes

R utile isolant	ψ_{rail} en W/(m. K)	χ_{susp} en W/K
3 m ² .K/W	0,001	0,005
5 m ² .K/W	0,000	0,003

4.1.3.4. • Murs donnant sur l'extérieur isolé par bardage, doublage intérieur ou mixte (cas ME1, ME2 et ME3)

Dans le cas d'une isolation par l'intérieur sur ossature en bois, d'un bardage rapporté ou d'une solution mixte, les valeurs de ponts thermiques (Tableau 6) peuvent être utilisées :

▲ **Tableau 6** : Coefficients de transmission thermique ponctuels χ et linéiques ψ dus aux pattes de fixation, aux chevrons, aux montants et au dispositif de fractionnement de la lame d'air pour un mur extérieur intégrant un panneau CLT

	Mise en œuvre des chevrons	R utile isolant	Coefficient ponctuel χ_{pattes} [W/K]		Coefficient linéique ψ [W/(m. K)]		
			Section patte 100 mm ²	Section patte 450 mm ²	Chevron	Montant	Fractionnement
ME1	Montant en T et patte en aluminium	3 m ² .K/W	0,014	0,040	0,005	—	0,14
		5 m ² .K/W	0,016	0,045	0,002	—	0,15
	Chevrons bois et patte en acier	3 m ² .K/W	0,006	0,021	0,015	—	0,14
		5 m ² .K/W	0,007	0,025	0,006	—	0,15

	Mise en œuvre des chevrons	R utile isolant	Coefficient ponctuel χ_{pattes} [W/K]		Coefficient linéique ψ [W/(m. K)]		
			Section patte 100 mm ²	Section patte 450 mm ²	Chevron	Montant	Fractionnement
ME2	Montant en T et patte en aluminium	3 m ² .K/W	0,006	0,018	0,006	0,006	0,05
		5 m ² .K/W	0,008	0,020	0,002	0,005	0,05
	Chevrons bois et patte en acier	3 m ² .K/W	0,003	0,008	0,021	0,006	0,05
		5 m ² .K/W	0,004	0,011	0,007	0,005	0,05
ME3	-	3 m ² .K/W	—	—	—	0,023	—
		5 m ² .K/W	—	—	—	0,018	—

Dans le cas d'une isolation mixte ITI-ITE, la **résistance thermique totale est supposée répartie 1/3 côté intérieur et 2/3 côté extérieur**.

Dans le cas d'une isolation par l'intérieur fixée mécaniquement à l'aide d'une ossature, les ponts thermiques intégrés peuvent être négligés **si les fourrures sur lesquelles est fixée la plaque de plâtre ne compriment pas l'isolant et si la pièce d'appui utilisée est en matière plastique**. Dans le cas d'une isolation mixte bardage rapporté ITI fixée mécaniquement sur ossature métallique respectant les conditions ci-dessus, la valeur du $\psi_{montant}$ n'est pas à considérer ($\psi_{montant} = 0$).

4.1.3.5. • Murs donnant sur un local non chauffé, isolé fixé mécaniquement (cas MI3)

Dans le cas d'une isolation par l'intérieur fixée mécaniquement à l'aide d'une ossature, les ponts thermiques intégrés peuvent être négligés **si les fourrures sur lesquelles est fixée la plaque de plâtre ne compriment pas l'isolant et si la pièce d'appui utilisée est en matière plastique**. Dans le cas d'un isolant fixé sur ossatures bois, les valeurs suivantes peuvent être utilisées :

▲ Tableau 7 : Coefficients de transmission thermique linéiques ψ dus aux montants bois

R utile isolant	Coefficient linéique ψ [W/(m.K)]
3 m ² .K/W	0,023
5 m ² .K/W	0,018

4.1.3.6. • Plancher bas sur vide sanitaire isolé en sous-face (cas D2)

Pour une mise en œuvre soignée des panneaux isolants ($e_{joint} < 2$ mm), le coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique dû aux joints entre panneaux isolants reste sensiblement égal à $\psi_j = 0,003$ W/(m.K) pour les gammes d'isolants couramment utilisés en plancher bas ($R < 5$ m².K).

Pour les gammes d'isolants couramment utilisés en plancher bas ($R > 3$ m².K), les coefficients de transmission thermique ponctuels du pont thermique dû aux fixations restent sensiblement

égaux à $\chi_f = 0,010 \text{ W/(m.K)}$ pour des fixations métalliques pleines et $\chi_f = 0,007 \text{ W/(m.K)}$ pour des fixations métalliques creuses. Ils sont négligeables pour des fixations en matière plastique.

4.1.4. • Valeurs tabulées

4.1.4.1. • Planchers hauts (cas E1, E2, C1, C2 et C3)

Le (Tableau 8) donne des valeurs de coefficient de transmission thermique surfacique U_p de différentes configurations de plancher haut obtenues avec les hypothèses ci-dessous :

▲ Tableau 8 : Coefficient de transmission thermique surfacique U_p des planchers hauts, en $\text{W/(m}^2\text{.K)}$

	Coefficient U_p des planchers hauts selon les cas de mise en œuvre		
	R utile isolant = $3 \text{ m}^2\text{.K/W}$	R utile isolant = $5 \text{ m}^2\text{.K/W}$	R utile isolant = $7 \text{ m}^2\text{.K/W}$
Cas E1/E2	0,26	0,17	0,13
Cas C1	0,29	0,20	0,15
Cas C2	0,29	0,21	0,17
Cas C3	0,27	0,18	0,14
Hypothèses			
Tous les cas	Épaisseur CLT		100 mm
Cas C1	Densité fixation		$5,6 \text{ m}^2$
	Diamètre fixation		8 mm
Cas C2	Entraxe panne		1,2 m
Cas C3	Entraxe fourrure		0,6 m
	Entraxe suspente		0,5 m

4.1.4.2. • Murs (cas ME1, ME2, ME3, MI2 et MI3)

Le (Tableau 9) donne des valeurs de coefficient de transmission thermique surfacique U_p de différentes configurations de murs obtenues avec les hypothèses ci-dessous :

▲ Tableau 9 : Coefficient de transmission thermique surfacique U_p des murs, en $\text{W/(m}^2\text{.K)}$

	Coefficient U_p des murs selon les cas de mise en œuvre	
	R utile isolant = $3 \text{ m}^2\text{.K/W}$	R utile isolant = $5 \text{ m}^2\text{.K/W}$
Cas ME1	0,30	0,19
Cas ME2	0,31	0,20
Cas ME3	0,30	0,20
Cas MI2	0,23	0,16
Cas MI3	0,30	0,20
Hypothèses		
Tous les cas	Épaisseur CLT	70 mm
	E montant	0,6 m
	E chevrons	0,6 m
	E patte	1,35 m
	Section pattes	100 mm^2

4.1.4.3. • Planchers bas (cas D1 et D2)

Le (Tableau 10) donne des valeurs de coefficient de transmission thermique surfacique U_p de différentes configurations de planchers bas obtenues avec les hypothèses ci-dessous :

▲ Tableau 10 : Coefficient de transmission thermique surfacique U_p des planchers bas, en $W/(m^2.K)$

	Coefficient U_p des planchers bas selon les cas de mise en œuvre	
	R utile isolant = $3 m^2.K/W$	R utile isolant = $5 m^2.K/W$
Cas D1	0,24	0,16
Cas D2	0,33	0,25
Hypothèses		
Tous les cas	Épaisseur CLT	100 mm
Cas D2	Largeur panneaux	0,6 m
	Longueur panneaux	2 m
	Densité fixation	$8 m^{-2}$

4.1.5. • Ponts thermiques des liaisons

4.1.5.1. • Introduction

Les déperditions par transmission à travers l'enveloppe sont séparées en deux parties avec, d'un côté, les coefficients de transmission surfaciques U_p des parois incluant les ponts thermiques intégrés (ψ_i et χ_j) et, de l'autre côté, les déperditions par transmission au niveau des ponts thermiques de liaison (ψ). On note que les déperditions par transmission linéique à la jonction entre les parois vont dépendre à la fois de la composition de la paroi en panneaux CLT (notamment en fonction de l'épaisseur du panneau et de la résistance thermique de l'isolant utilisé) et de la composition des parois adjacentes (planchers).

4.1.5.2. • Méthode de calcul

Les ponts thermiques de liaison doivent être déterminés par calcul numérique selon le chapitre II du fascicule 5/5 des règles Th-bât ou, plus généralement, selon la norme NF EN ISO 10211. En l'absence d'un calcul spécifique correspondant au système étudié, les valeurs de ponts thermiques fournies au paragraphe 3.3 peuvent être utilisées.

4.1.5.3. • Valeurs tabulées

Les méthodes suivantes sont valables pour des panneaux CLT ayant une masse volumique normale moyenne inférieure à $500 kg/m^3$. En pratique, cela concerne les essences visées dans ce guide. Les valeurs sont valables pour des épaisseurs de CLT comprises entre 70 et 250 mm pour les parois verticales et entre 100 et 250 mm pour les planchers.

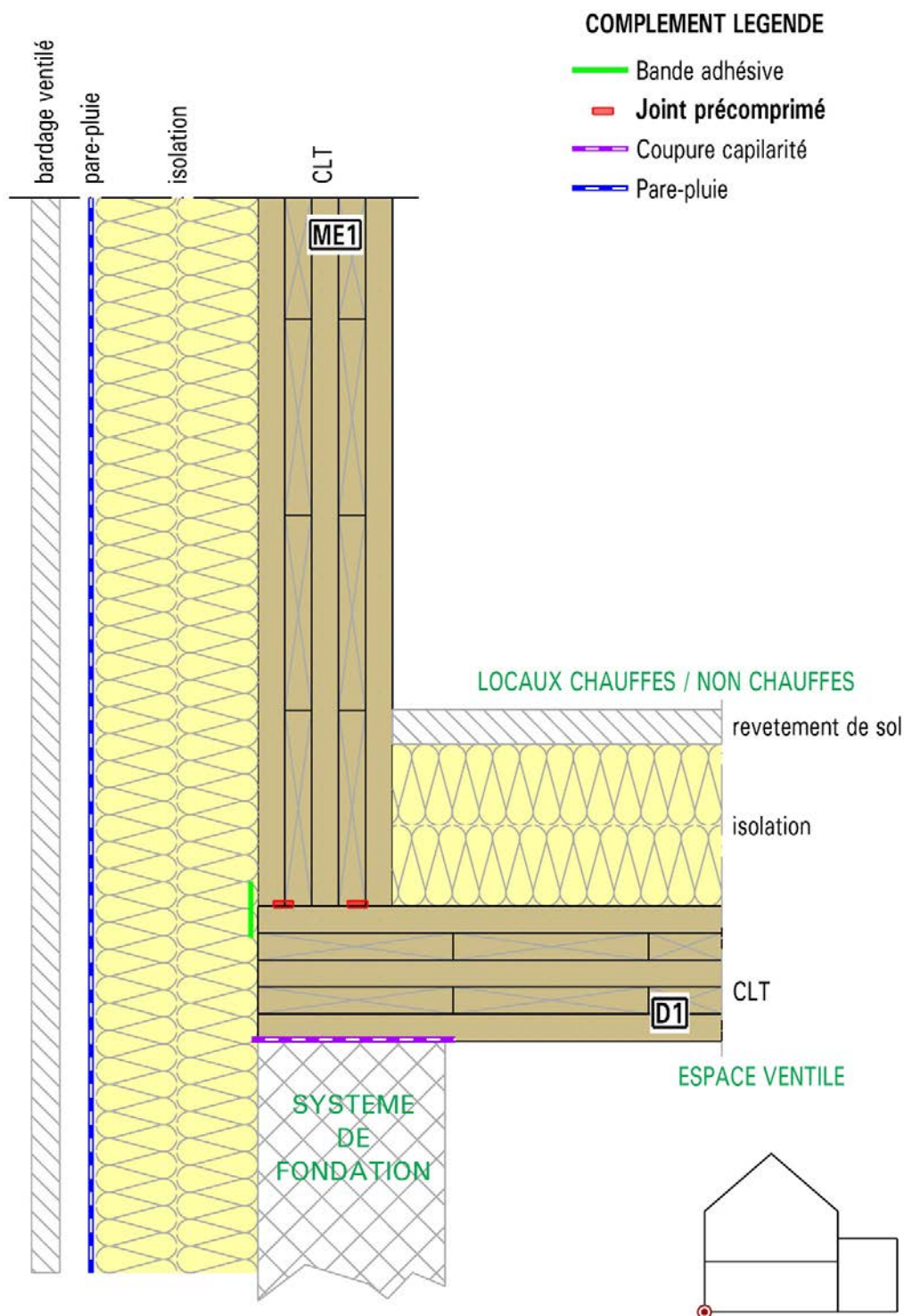
Dans les cas d'une isolation mixte ITI-ITE, les valeurs suivantes ont été calculées avec une répartition correspondant à 1/3 de la résistance thermique totale située côté intérieur et à 2/3 côté extérieur.

Les interpolations linéaires sont possibles pour tous les tableaux présentés ci-dessous.

4.1.5.4. • *Liaison plancher bas sur vide sanitaire ou local non chauffé avec un mur CLT*

Les valeurs de pont thermique dépendent du type de mur, de son mode d'isolation (ITI ou ITE), du type de plancher bas (béton plein ou CLT) et de son mode d'isolation (sous chape ou en sous-face). L'impact des équerres métalliques ponctuelles de fixation en pied de mur a été évalué et est négligeable dans les cas de figure étudiés.

*Liaison plancher bas sur vide sanitaire ou local non chauffé
avec mur CLT isolé par l'intérieur (ITI)*



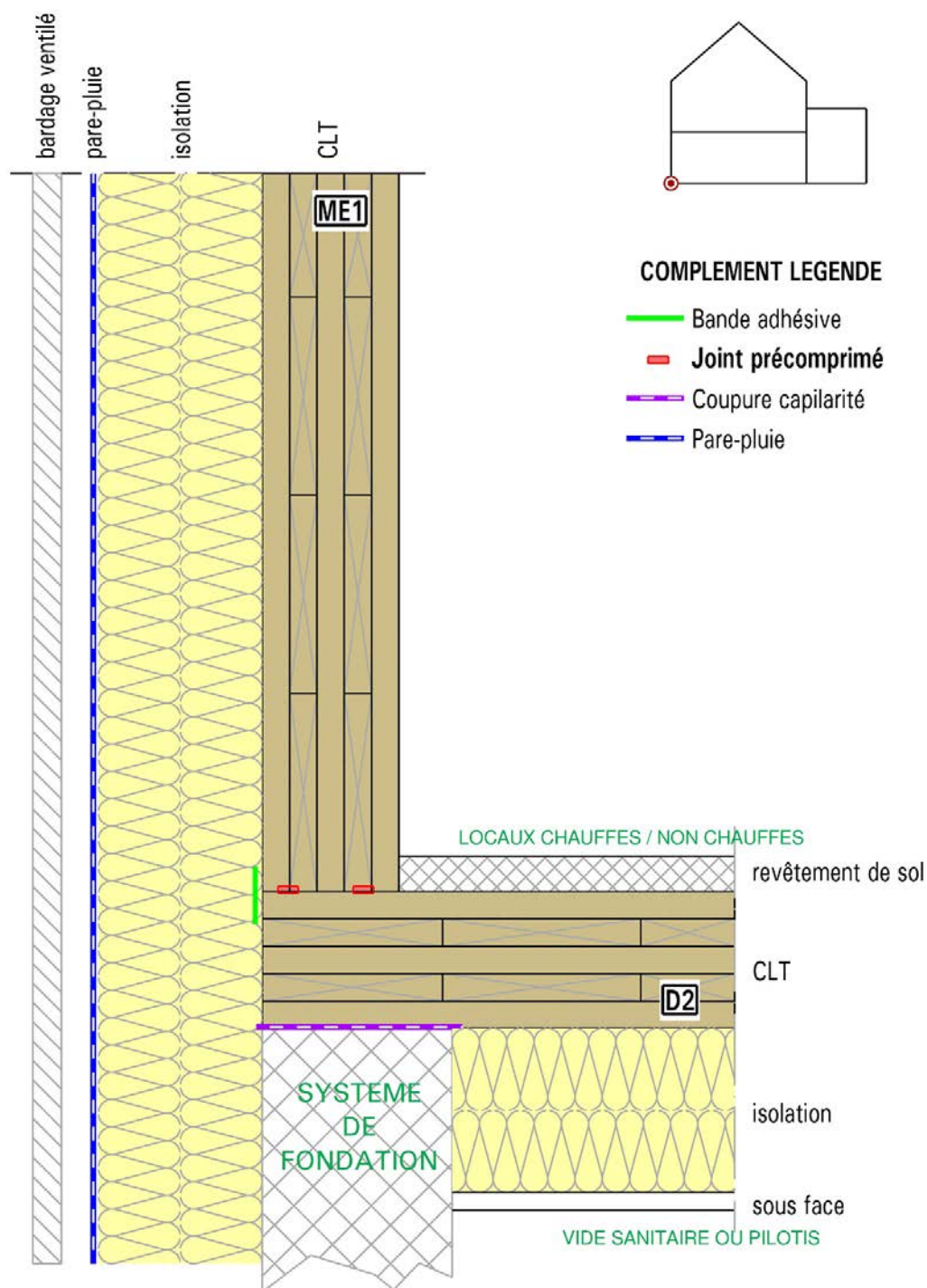
▲ Figure 14 : Exemple ME1-D2

▲ Tableau 11 : Coefficients de transmission thermique linéiques Ψ des liaisons murs CLT en ITI-planchers bas, en $W/(m^2.K)$

	Murs			
	$R_m = 3 \text{ m}^2.K/W$		$R_m = 5 \text{ m}^2.K/W$	
Planchers bas	$e_{CLT} = 70 \text{ mm}$	$e_{CLT} = 250 \text{ mm}$	$e_{CLT} = 70 \text{ mm}$	$e_{CLT} = 250 \text{ mm}$

			Murs			
			$R_m = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$		$R_m = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	
Isolation sous chape	$e_{\text{CLT}} = 100 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,05	0,05	0,04	0,05
		$R_p = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,04	0,04	0,04	0,04
	$e_{\text{CLT}} = 250 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,05	0,04	0,04	0,04
		$R_p = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,05	0,04	0,04	0,04
	Béton 200 mm	$R_p = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,06	0,06	0,06	0,06
		$R_p = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,05	0,05	0,05	0,05
Isola- tion en sous-face	$e_{\text{CLT}} = 100 \text{ mm}$	$R_p = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,12	0,06	0,09	0,06
		$R_p = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,13	0,06	0,10	0,06
	$e_{\text{CLT}} = 250 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,11	0,07	0,09	0,07
		$R_p = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,12	0,08	0,10	0,07
	Béton 200 mm	$R_p = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,82	0,60	0,73	0,55
		$R_p = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,86	0,62	0,76	0,57

Liaison plancher bas sur vide sanitaire ou local non chauffé avec mur CLT isolé par l'extérieur (ITE)



▲ Figure 15 : Exemple ME3-D1

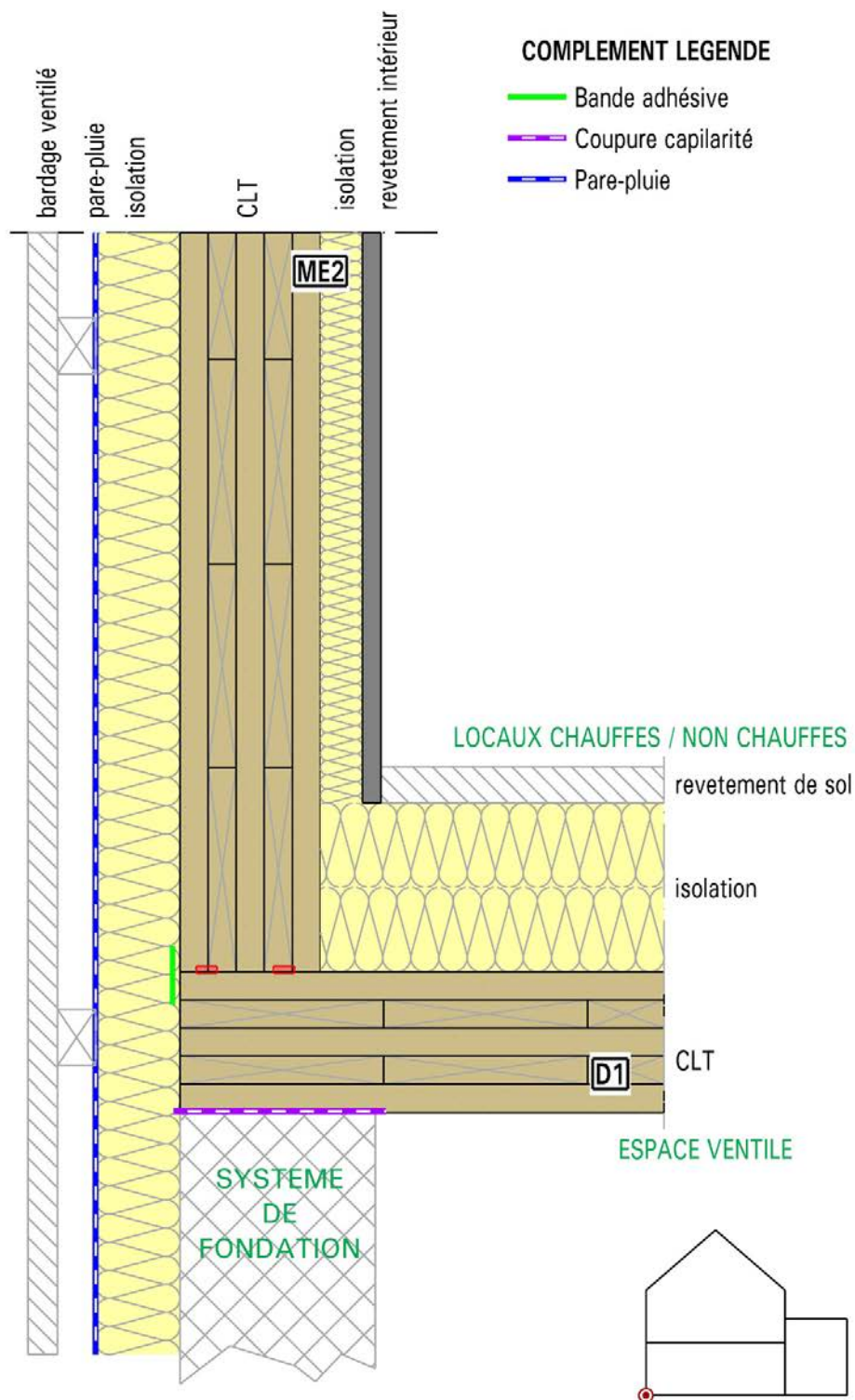
▲ Tableau 12 : Coefficients de transmission thermique linéiques Ψ des liaisons murs CLT en ITE-planchers bas, en $W/(m^2.K)$

	Murs			
	$R_m = 3 m^2.K/W$		$R_m = 5 m^2.K/W$	
Planchers bas	$e_{CLT} = 70 mm$	$e_{CLT} = 250 mm$	$e_{CLT} = 70 mm$	$e_{CLT} = 250 mm$

			Murs			
			R _m = 3 m².K/W		R _m = 5 m².K/W	
Isolation sous chape	e _{CLT} = 100 mm	R _p = 3 m².K/W	0,06	0,09	0,06	0,09
		R _p = 5 m².K/W	0,06	0,08	0,05	0,08
	e _{CLT} = 250 mm	R _p = 3 m².K/W	0,05	0,07	0,05	0,07
		R _p = 5 m².K/W	0,05	0,07	0,05	0,07
	Béton 200 mm	R _p = 3 m².K/W	0,08	0,12	0,08	0,13
		R _p = 5 m².K/W	0,06	0,10	0,06	0,11
Isolation en sous-face	e _{CLT} = 100 mm	R _p = 3 m².K/W	0,19	0,12	0,18	0,13
		R _p = 5 m².K/W	0,20	0,13	0,20	0,13
	e _{CLT} = 250 mm	R _p = 3 m².K/W	0,11	0,10	0,10	0,10
		R _p = 5 m².K/W	0,13	0,10	0,12	0,10
	Béton 200 mm	R _p = 3 m².K/W	0,69	0,57	0,68	0,57
		R _p = 5 m².K/W	0,66	0,55	0,65	0,54

Dans le cas où l'isolant extérieur descend sur une distance par rapport à la sous-face du plancher bas supérieure ou égale à 30 cm, les valeurs précédentes peuvent être réduites de 15 %.

Liaison plancher bas sur vide sanitaire ou local non chauffé avec mur CLT en isolation mixte ITI + ITE



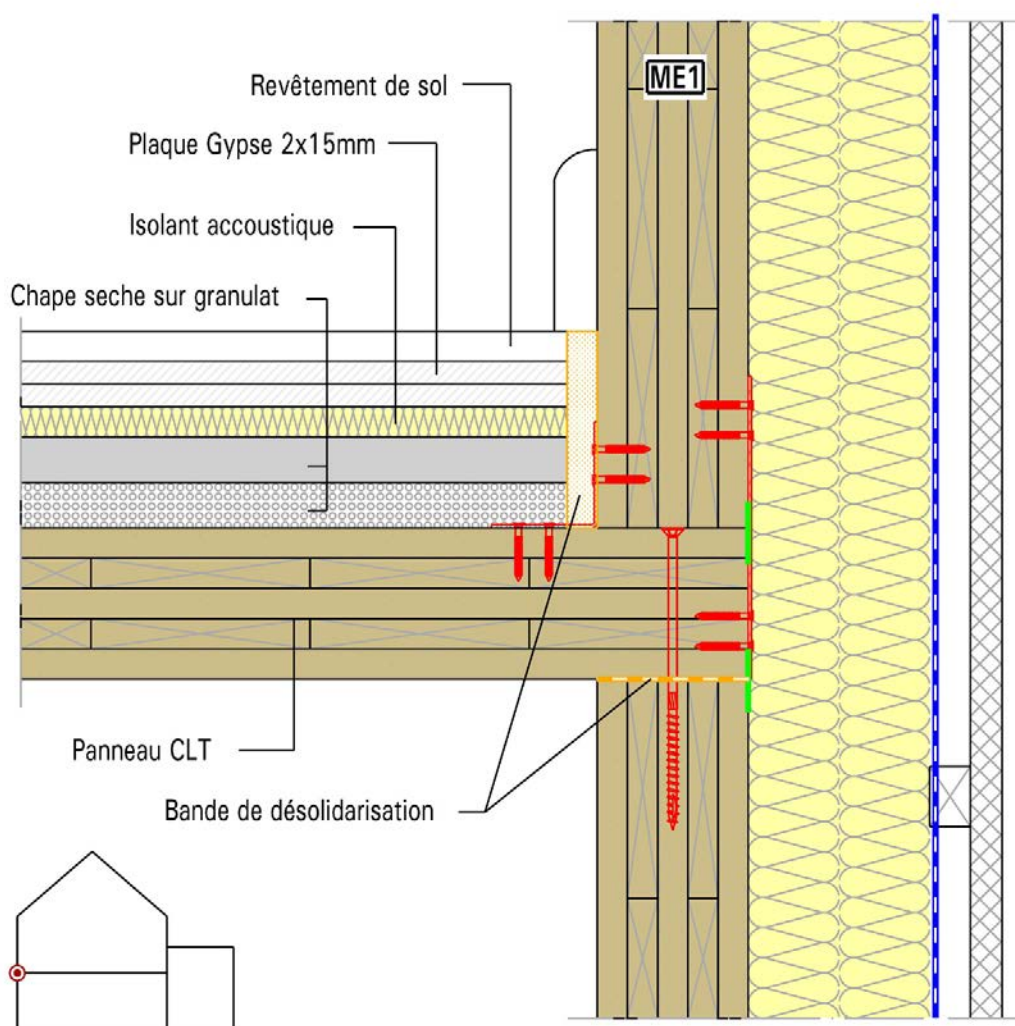
▲ Figure 16 : Exemple de liaison ME2-D1

▲ Tableau 13 : Coefficients de transmission thermique linéiques Ψ des liaisons murs CLT en isolation mixte ITI + ITE-planchers bas, en $W/(m^2.K)$

	Murs			
	$R_m = 3 \text{ m}^2.K/W$		$R_m = 5 \text{ m}^2.K/W$	
Planchers bas	$e_{CLT} = 70 \text{ mm}$	$e_{CLT} = 250 \text{ mm}$	$e_{CLT} = 70 \text{ mm}$	$e_{CLT} = 250 \text{ mm}$

			Murs			
			$R_m = 3 \text{ m}^2.\text{K/W}$		$R_m = 5 \text{ m}^2.\text{K/W}$	
Isolation sous chape	$e_{\text{CLT}} = 100 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2.\text{K/W}$	0,04	0,06	0,04	0,06
		$R_p = 5 \text{ m}^2.\text{K/W}$	0,04	0,06	0,04	0,06
	$e_{\text{CLT}} = 250 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2.\text{K/W}$	0,04	0,05	0,03	0,05
		$R_p = 5 \text{ m}^2.\text{K/W}$	0,04	0,05	0,03	0,05
	Béton 200 mm	$R_p = 3 \text{ m}^2.\text{K/W}$	0,05	0,08	0,05	0,09
		$R_p = 5 \text{ m}^2.\text{K/W}$	0,04	0,07	0,04	0,07
Isolation en sous-face	$e_{\text{CLT}} = 100 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2.\text{K/W}$	0,18	0,12	0,18	0,12
		$R_p = 5 \text{ m}^2.\text{K/W}$	0,19	0,12	0,19	0,13
	$e_{\text{CLT}} = 250 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2.\text{K/W}$	0,11	0,09	0,10	0,09
		$R_p = 5 \text{ m}^2.\text{K/W}$	0,12	0,10	0,11	0,10
	Béton 200 mm	$R_p = 3 \text{ m}^2.\text{K/W}$	0,66	0,55	0,66	0,55
		$R_p = 5 \text{ m}^2.\text{K/W}$	0,63	0,52	0,62	0,52

4.1.5.5. • Liaison plancher intermédiaire avec mur CLT



▲ Figure 17 : Exemple de plancher intermédiaire avec ME1

Les valeurs de pont thermique dépendent du type de mur (épaisseur) et de son mode d'isolation (ITI ou ITE ou isolation mixte). En ITI, les valeurs suivantes (Tableau 14) ne sont valables que si le doublage isolant remonte jusqu'en sous-face du panneau CLT du plancher intermédiaire :

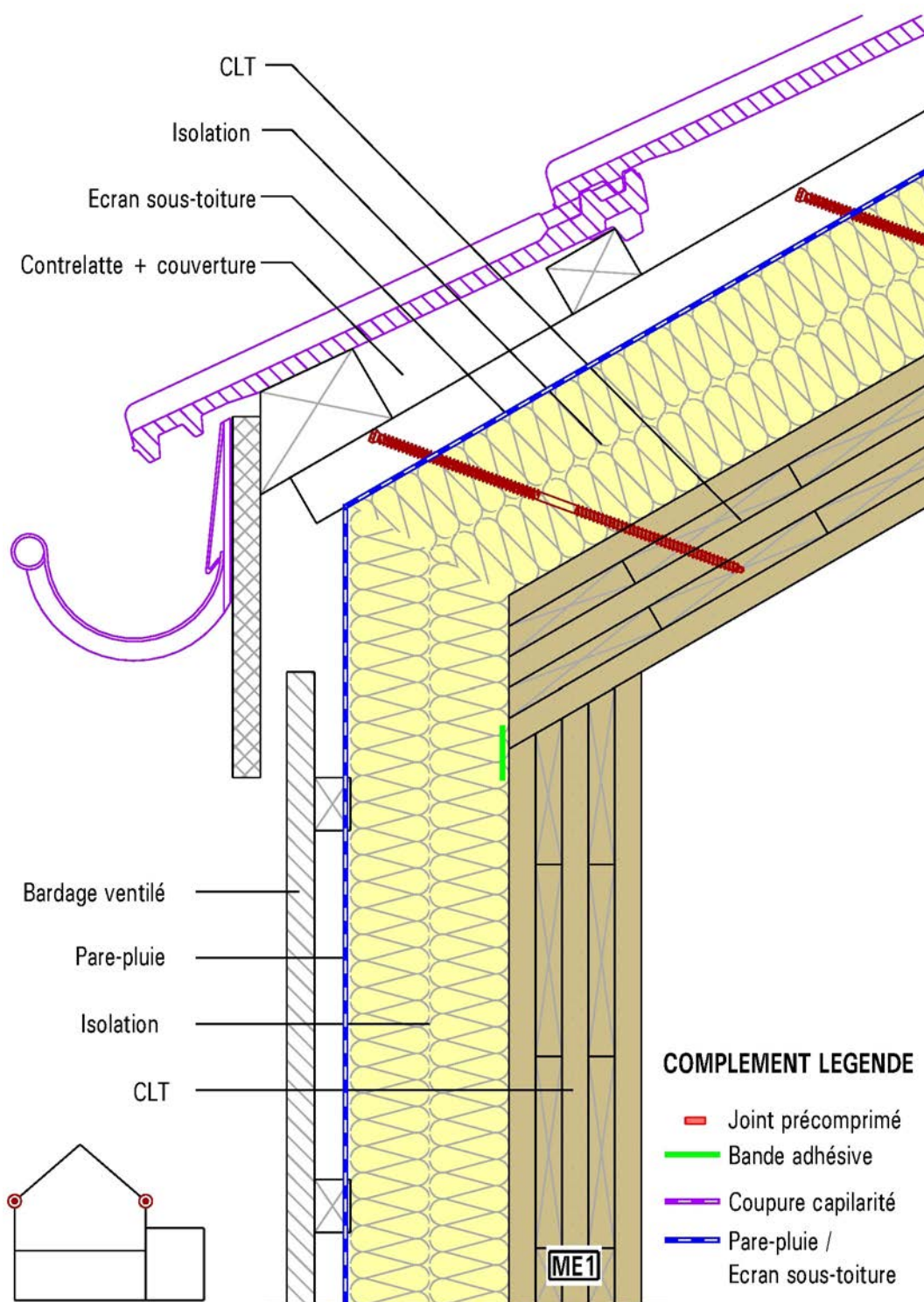
▲ **Tableau 14** : Coefficients de transmission thermique linéiques Ψ des liaisons murs CLT-planchers intermédiaires, en $W/(m^2.K)$

Mode constructif	Planchers intermédiaires	Murs			
		$R_m = 3 \text{ m}^2.K/W$		$R_m = 5 \text{ m}^2.K/W$	
		$e_{CLT} = 70 \text{ mm}$	$e_{CLT} = 250 \text{ mm}$	$e_{CLT} = 70 \text{ mm}$	$e_{CLT} = 250 \text{ mm}$
ITI	$e_{CLT} = 100 \text{ mm}$	0,08	0,05	0,06	0,04
	$e_{CLT} = 250 \text{ mm}$	0,15	0,09	0,12	0,08
ITI + ITE	$e_{CLT} = 100 \text{ mm}$	0,05	0,03	0,04	0,02
	$e_{CLT} = 250 \text{ mm}$	0,09	0,05	0,07	0,05
ITE	$e_{CLT} = 100 \text{ mm}$	0,04	0,03	0,03	0,02
	$e_{CLT} = 250 \text{ mm}$	0,08	0,06	0,05	0,04

4.1.5.6. • Liaison plancher haut avec mur CLT

Les valeurs de pont thermique dépendent du type de mur (épaisseur), de son mode d'isolation (ITI ou ITE ou isolation mixte) et du type de plancher haut (toiture inclinée, toiture-terrasse, etc.). Sauf cas particulier précisé, les planchers hauts sont isolés côté extérieur.

Liaison toiture inclinée CLT avec mur CLT



▲ Figure 18 : Exemple ME1-C1

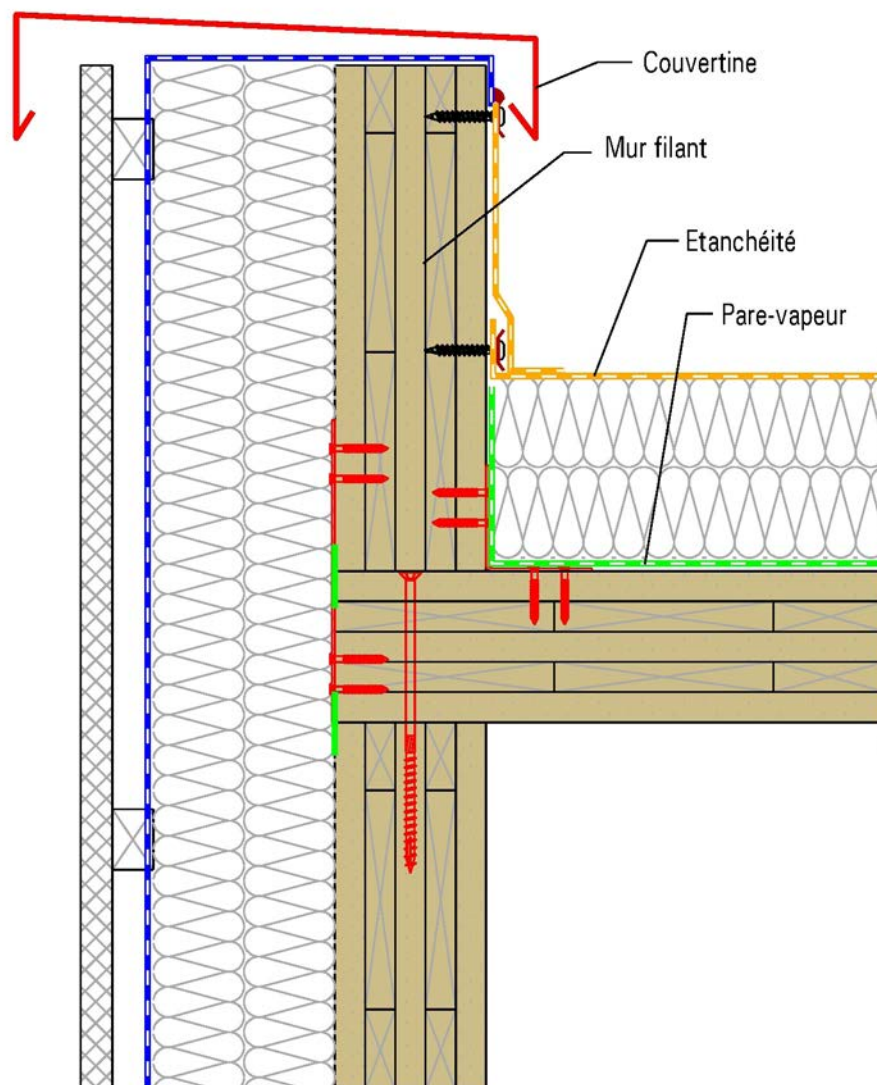
▲ Tableau 15 : Coefficients de transmission thermique linéiques Ψ des liaisons murs CLT-toiture CLT inclinée, en $W/(m^2.K)$

		Toiture			
		$e_{CLT} = 100 \text{ mm}$		$e_{CLT} = 250 \text{ mm}$	
Mur		$R_t = 3 \text{ m}^2.K/W$	$R_t = 7 \text{ m}^2.K/W$	$R_t = 3 \text{ m}^2.K/W$	$R_t = 7 \text{ m}^2.K/W$



			Toiture			
			$e_{CLT} = 100 \text{ mm}$		$e_{CLT} = 250 \text{ mm}$	
ITE	$e_{CLT} = 70 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,14	0,16	0,14	0,16
		$R_p = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,11	0,12	0,09	0,15
	$e_{CLT} = 250 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,09	0,09	0,10	0,10
		$R_p = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,10	0,10	0,10	0,11
ITI	$e_{CLT} = 70 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,05	0,06	0,07	0,08
		$R_p = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,05	0,05	0,07	0,08
	$e_{CLT} = 250 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,04	0,04	0,06	0,06
		$R_p = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,04	0,04	0,06	0,06
ITI + ITE	$e_{CLT} = 70 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,11	0,12	0,11	0,12
		$R_p = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,08	0,09	0,06	0,11
	$e_{CLT} = 250 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,07	0,07	0,07	0,08
		$R_p = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,07	0,07	0,08	0,08
ITI + toiture isolée sous CLT	$e_{CLT} = 70 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,04	0,04	0,05	0,06
		$R_p = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,03	0,04	0,04	0,05
	$e_{CLT} = 250 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,03	0,03	0,04	0,04
		$R_p = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,03	0,03	0,04	0,04

Liaison toiture-terrasse CLT avec mur CLT



▲ Figure 19 : Exemple E1-ME1

Les valeurs suivantes tiennent compte de la présence d'une cornière métallique de fixation ponctuelle fixée sur 80 mm sur le panneau CLT de toiture, de 160 mm de largeur et de 3 mm d'épaisseur. Les valeurs sont donc valables pour des dimensions de cornières inférieures ou égales à celles indiquées précédemment et pour des entraxes entre cornières supérieures ou égales à 1 m.

▲ Tableau 16 : Coefficients de transmission thermique linéiques Ψ des liaisons murs CLT-toiture CLT terrasse, en $W/(m^2.K)$

			Toiture			
			$e_{CLT} = 100 \text{ mm}$		$e_{CLT} = 250 \text{ mm}$	
Mur			$R_t = 3 \text{ m}^2.K/W$	$R_t = 7 \text{ m}^2.K/W$	$R_t = 3 \text{ m}^2.K/W$	$R_t = 7 \text{ m}^2.K/W$
ITE	$e_{CLT} = 70 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2.K/W$	0,07	0,07	0,07	0,08
		$R_p = 5 \text{ m}^2.K/W$	0,07	0,06	0,07	0,07
	$e_{CLT} = 250 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2.K/W$	0,09	0,08	0,09	0,09
		$R_p = 5 \text{ m}^2.K/W$	0,10	0,08	0,09	0,08

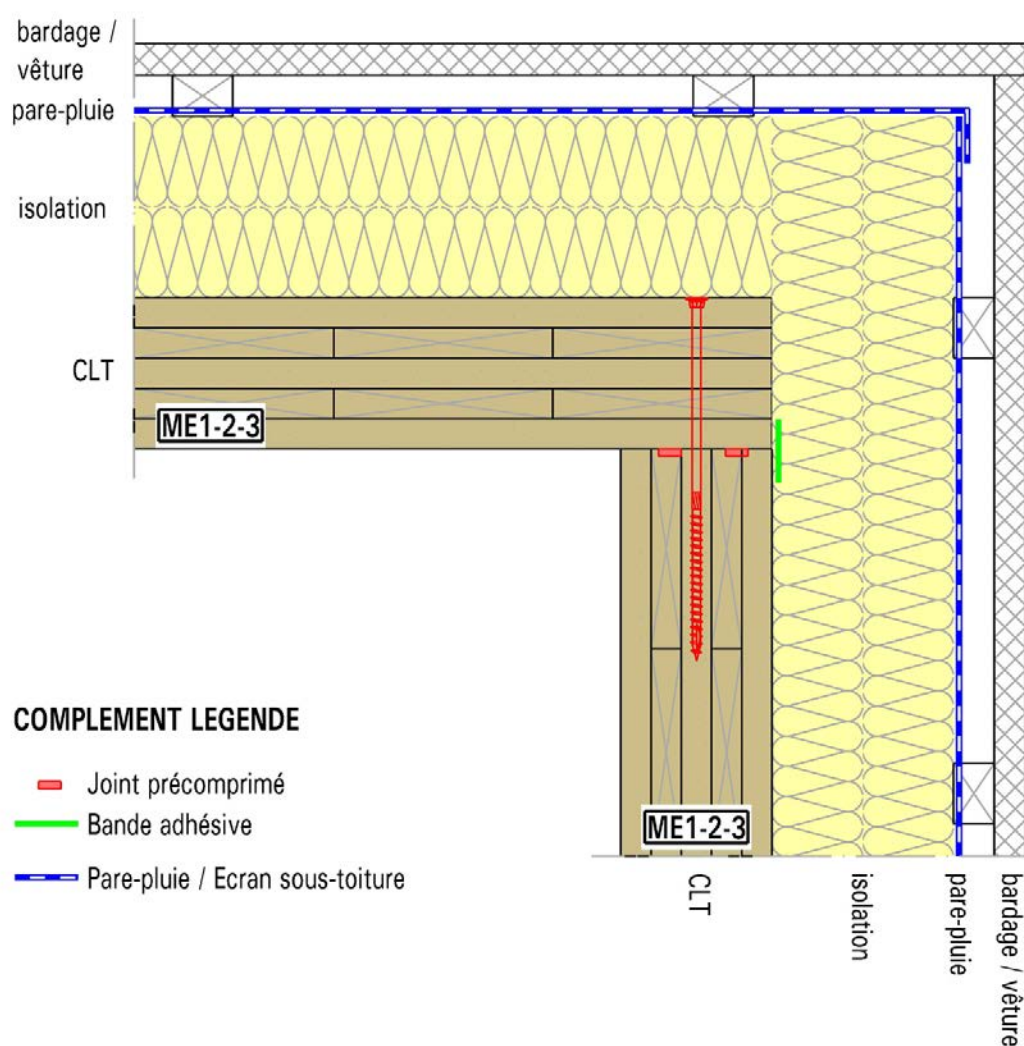


			Toiture			
			$e_{CLT} = 100 \text{ mm}$		$e_{CLT} = 250 \text{ mm}$	
ITI	$e_{CLT} = 70 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,07	0,07	0,09	0,10
		$R_p = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,06	0,06	0,08	0,09
	$e_{CLT} = 250 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,06	0,06	0,07	0,08
		$R_p = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,06	0,06	0,07	0,07
ITI + ITE	$e_{CLT} = 70 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,07	0,06	0,07	0,07
		$R_p = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,07	0,06	0,06	0,06
	$e_{CLT} = 250 \text{ mm}$	$R_p = 3 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,07	0,06	0,06	0,06
		$R_p = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$	0,07	0,06	0,06	0,06

4.1.5.7. • Liaisons horizontales

Les valeurs de pont thermique dépendent du type de mur (épaisseur) et de son mode d'isolation (ITI ou ITE ou isolation mixte).

Angles sortants-rentrants

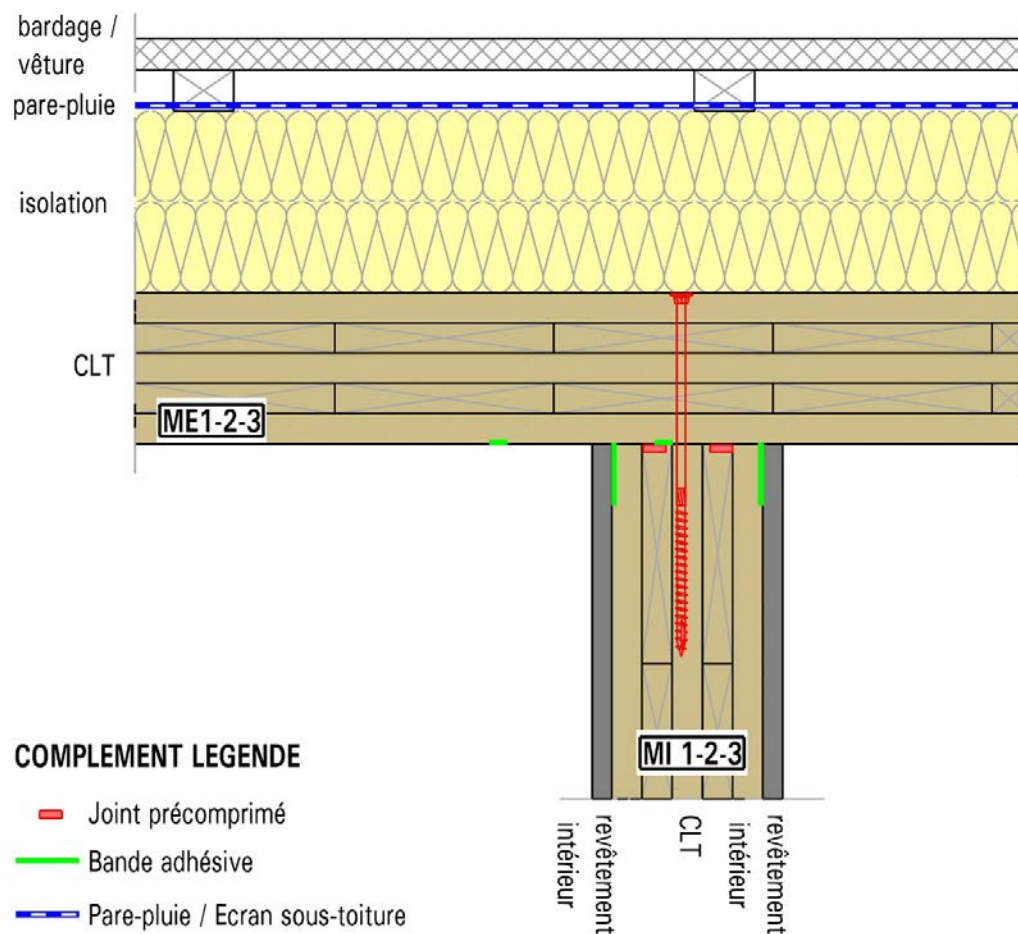


▲ Figure 20 : Exemple d'angle sortant

▲ Tableau 17 : Coefficients de transmission thermique linéiques Ψ des liaisons d'angles, en $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

			$\Psi_{\text{entrant}} \text{ [W/(m.K)]}$	$\Psi_{\text{sortant}} \text{ [W/(m.K)]}$
ITI	$R_m = 3 \text{ m}^2.\text{K/W}$	$e_{\text{CLT}} = 70 \text{ mm}$	0,04	0,02
		$e_{\text{CLT}} = 250 \text{ mm}$	0,06	0,02
	$R_m = 5 \text{ m}^2.\text{K/W}$	$e_{\text{CLT}} = 70 \text{ mm}$	0,03	0,02
		$e_{\text{CLT}} = 250 \text{ mm}$	0,05	0,02
ITE	$R_m = 3 \text{ m}^2.\text{K/W}$	$e_{\text{CLT}} = 70 \text{ mm}$	0,02	0,04
		$e_{\text{CLT}} = 250 \text{ mm}$	0,02	0,06
	$R_m = 5 \text{ m}^2.\text{K/W}$	$e_{\text{CLT}} = 70 \text{ mm}$	0,02	0,03
		$e_{\text{CLT}} = 250 \text{ mm}$	0,02	0,05
ITI + ITE	$R_m = 3 \text{ m}^2.\text{K/W}$	$e_{\text{CLT}} = 70 \text{ mm}$	0,02	0,02
		$e_{\text{CLT}} = 250 \text{ mm}$	0,03	0,03
	$R_m = 5 \text{ m}^2.\text{K/W}$	$e_{\text{CLT}} = 70 \text{ mm}$	0,02	0,02
		$e_{\text{CLT}} = 250 \text{ mm}$	0,03	0,03

Refends



▲ Figure 21 : Exemple de refend avec ME1

▲ Tableau 18 : Coefficients de transmission thermique linéiques des liaisons au niveau des refends horizontaux en CLT, en $\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$

				Ψ_{refend} [W/(m.K)]
ITI	$R_m = 3 \text{ m}^2.\text{K/W}$	$e_{\text{murCLT}} = 70 \text{ mm}$	$e_{\text{refendCLT}} = 70 \text{ mm}$	0,07
			$e_{\text{refendCLT}} = 250 \text{ mm}$	0,16
		$e_{\text{murCLT}} = 250 \text{ mm}$	$e_{\text{refendCLT}} = 70 \text{ mm}$	0,04
			$e_{\text{refendCLT}} = 250 \text{ mm}$	0,09
	$R_m = 5 \text{ m}^2.\text{K/W}$	$e_{\text{murCLT}} = 70 \text{ mm}$	$e_{\text{refendCLT}} = 70 \text{ mm}$	0,06
			$e_{\text{refendCLT}} = 250 \text{ mm}$	0,13
		$e_{\text{murCLT}} = 250 \text{ mm}$	$e_{\text{refendCLT}} = 70 \text{ mm}$	0,03
			$e_{\text{refendCLT}} = 250 \text{ mm}$	0,07
ITE	$R_m = 3 \text{ m}^2.\text{K/W}$	$e_{\text{murCLT}} = 70 \text{ mm}$	$e_{\text{refendCLT}} = 70 \text{ mm}$	0,03
			$e_{\text{refendCLT}} = 250 \text{ mm}$	0,07
		$e_{\text{murCLT}} = 250 \text{ mm}$	$e_{\text{refendCLT}} = 70 \text{ mm}$	0,02
			$e_{\text{refendCLT}} = 250 \text{ mm}$	0,04
	$R_m = 5 \text{ m}^2.\text{K/W}$	$e_{\text{murCLT}} = 70 \text{ mm}$	$e_{\text{refendCLT}} = 70 \text{ mm}$	0,02
			$e_{\text{refendCLT}} = 250 \text{ mm}$	0,04
		$e_{\text{murCLT}} = 250 \text{ mm}$	$e_{\text{refendCLT}} = 70 \text{ mm}$	0,01
			$e_{\text{refendCLT}} = 250 \text{ mm}$	0,03
ITI/ITE	$R_m = 3 \text{ m}^2.\text{K/W}$	$e_{\text{murCLT}} = 70 \text{ mm}$	$e_{\text{refendCLT}} = 70 \text{ mm}$	0,04
			$e_{\text{refendCLT}} = 250 \text{ mm}$	0,08
		$e_{\text{murCLT}} = 250 \text{ mm}$	$e_{\text{refendCLT}} = 70 \text{ mm}$	0,02
			$e_{\text{refendCLT}} = 250 \text{ mm}$	0,05
	$R_m = 5 \text{ m}^2.\text{K/W}$	$e_{\text{murCLT}} = 70 \text{ mm}$	$e_{\text{refendCLT}} = 70 \text{ mm}$	0,03
			$e_{\text{refendCLT}} = 250 \text{ mm}$	0,06
		$e_{\text{murCLT}} = 250 \text{ mm}$	$e_{\text{refendCLT}} = 70 \text{ mm}$	0,02
			$e_{\text{refendCLT}} = 250 \text{ mm}$	0,03

4.1.5.8. • Encadrement des baies

Les valeurs de pont thermique dépendent du type de mur (épaisseur) et de son mode d'isolation (ITI ou ITE ou isolation mixte).

Encadrement des fenêtres du toit

Quand la toiture inclinée en CLT est isolée par l'extérieur, les ponts thermiques dus aux encadrements de la fenêtre de toit sont négligeables ($\Psi = 0$). Dans le cas d'une isolation rapportée en sous-face du panneau CLT, les valeurs (Tableau 19) s'appliquent :

▲ **Tableau 19** : Coefficients de transmission thermique linéiques Ψ des liaisons au niveau des encadrements de fenêtres de toit avec isolation rapportée en sous-face des panneaux CLT de toiture, en W/(m².K)

		Ψ [W/(m.K)]
$e_{\text{CLT}} = 100 \text{ mm}$	$R_t = 3 \text{ m}^2.\text{K/W}$	0,05
	$R_t = 7 \text{ m}^2.\text{K/W}$	0,07
$e_{\text{CLT}} = 250 \text{ mm}$	$R_t = 3 \text{ m}^2.\text{K/W}$	0,09
	$R_t = 7 \text{ m}^2.\text{K/W}$	0,11

Encadrement des menuiseries extérieures verticales en tableaux et en linteaux

Quand la toiture inclinée en CLT est isolée par l'intérieur, les ponts thermiques dus aux encadrements de la fenêtre de toit sont négligeables ($\Psi = 0$). Dans le cas d'une ITE, les valeurs du (Tableau 20) s'appliquent :

▲ **Tableau 20** : Coefficients de transmission thermique linéiques Ψ des liaisons au niveau des tableaux et linteaux de fenêtres verticales avec panneaux CLT isolés par l'extérieur, en $W/(m^2.K)$

		Ψ [$W/(m.K)$]
$e_{CLT} = 75$ mm	$R_t = 3$ m ² .K/W	0,09
	$R_t = 7$ m ² .K/W	0,14
$e_{CLT} = 250$ mm	$R_t = 3$ m ² .K/W	0,12
	$R_t = 7$ m ² .K/W	0,16

En cas d'isolation mixte ITI + ITE, les valeurs précédentes peuvent être réduites de 30 %.

Encadrement des fenêtres verticales en appui

Quand la toiture inclinée en CLT est isolée par l'intérieur, les ponts thermiques dus aux encadrements de la fenêtre de toit sont négligeables ($\Psi = 0$). Dans le cas d'une ITE, les valeurs du (Tableau 21) s'appliquent :

▲ **Tableau 21** : Coefficients de transmission thermique linéiques Ψ des liaisons au niveau des appuis de fenêtres verticales avec panneaux CLT isolés par l'extérieur, en $W/(m^2.K)$

		Ψ [$W/(m.K)$]
$e_{CLT} = 75$ mm	$R_t = 3$ m ² .K/W	0,17
	$R_t = 7$ m ² .K/W	0,23
$e_{CLT} = 250$ mm	$R_t = 3$ m ² .K/W	0,21
	$R_t = 7$ m ² .K/W	0,25

En cas d'isolation mixte ITI + ITE, les valeurs précédentes peuvent être réduites de 15 %.

4.1.6. • Contribution qualitative au confort d'été dans le bâtiment

Le confort estival d'un bâtiment dépend de nombreux paramètres (maîtrise des apports solaires par les baies, apports internes, surventilation nocturne, etc.). L'un des paramètres est l'inertie thermique qui caractérise la capacité du bâtiment à stocker la chaleur ; il se calcule à partir des caractéristiques de tous les éléments en contact avec l'ambiance intérieure (enveloppe du bâtiment, mais aussi cloisons et mobilier). Le stockage des apports solaires permet d'améliorer le confort thermique, en particulier en période estivale où les pics de chaleur de la journée sont absorbés puis évacués la nuit par surventilation.

Les panneaux CLT peuvent contribuer au confort estival s'ils sont isolés par l'extérieur et si la face intérieure du panneau est laissée apparente (sans faux plafond, en particulier). La contribution est supérieure à celle d'un doublage isolant intérieur (ITI), mais inférieure à d'autres procédés constructifs isolés par l'extérieur (mur en béton banché, dalle en béton apparente, mur maçonné, etc.). Le déphasage de l'onde de chaleur de l'extérieur vers l'intérieur a un impact négligeable sur le confort d'été dès lors qu'un niveau minimal d'isolation thermique est utilisé.

4.2. • Transferts hygrothermiques

4.2.1. • Évaluation des risques de condensation

4.2.1.1. • Méthode

Les aspects de transferts hygrothermiques doivent être étudiés afin d'évaluer les risques de condensation dans l'épaisseur des parois des bâtiments composés de panneaux CLT. L'étude peut être menée soit sur la base de l'expérience pour les configurations ne présentant pas de risque, soit sur la base de calculs pour les configurations présentant des risques. Les calculs sont généralement menés au moyen de simulations numériques permettant d'évaluer les évolutions dans le temps.

Remarque

Il est recommandé de procéder à des simulations sur une période de trois ans afin de détecter une éventuelle augmentation d'humidité dans la paroi au cours du temps.

Les facteurs pertinents pour la simulation hygrothermique de composants du bâtiment sont récapitulés ci-après.

Données d'entrée :

- description, orientation et inclinaison des composants et des parois du bâtiment ;
- paramètres et fonctions hygrothermiques des matériaux ;
- conditions limites, transferts surfaciques pour les climats intérieurs et extérieurs ;
- état initial, période de calcul, paramètres de contrôle numérique.

Données de sortie :

- température, répartition du flux thermique et variations temporelles ;

- teneur en eau, humidité relative, répartition du flux d'humidité et variations temporelles.

Les résultats doivent être interprétés afin de déterminer les risques de condensation. En effet, un taux d'humidité excessif dans une paroi à ossature en bois peut générer :

- une corrosion des assembleurs ;
- une croissance de bactéries ;
- un développement de moisissures et de pourritures ;
- une augmentation du risque d'attaques de termites et autres insectes.

Les configurations de parois seront acceptables si :

- elles ne présentent pas de perte de résistance mécanique au cours du temps, ce qui génère des problèmes de sécurité pour les occupants des bâtiments ;
- elles présentent des effets acceptables sur la santé des occupants en limitant la production des spores de moisissures entrant dans le milieu intérieur.

Les effets sur la santé et la qualité de l'air intérieur sont atténués par de bonnes pratiques constructives, à savoir par une conception limitant l'humidité de surface des matériaux et par une séparation physique continue entre l'intérieur du mur et le volume intérieur de la construction (un revêtement intérieur en plaques de plâtre et la pose d'un pare-vapeur continu permettent cette séparation).

Les dégradations mécaniques sont, quant à elles, dues à l'attaque de champignons de pourriture. Le processus d'attaque fongique du bois ou des matériaux à base de bois est divisé en trois étapes :

- établissement du champignon ;
- croissance et infestation ;
- survivance.

Il est établi que l'infestation du bois produit de l'eau : il est donc plus difficile d'arrêter une attaque fongique, même n'ayant pas encore dégradé le bois, que de la prévenir.

La germination des spores de champignons n'est déclenchée que si un ensemble de conditions sont réunies au même moment, à savoir :

- une humidité au-delà d'un seuil ;
- des températures adéquates ;
- des nutriments disponibles ;
- des bois non naturellement durables ou insuffisamment préservés ;
- l'absence d'autres champignons antagonistes.

Les éléments de structure en bois doivent avoir une durabilité naturelle ou conférée compatible avec la classe d'emploi 2. La classe

d'emploi 2 est définie dans la norme NF EN 335-1 comme étant une situation dans laquelle le bois, ou le produit à base de bois, est sous abri et non exposé aux intempéries mais où une humidité ambiante élevée peut conduire à une humidification occasionnelle mais non persistante.

4.2.1.2. • Paramètres des matériaux

Les éléments pouvant intervenir dans les transferts hygrothermiques sont :

- la résistance à la diffusion de la couverture ;
- la nature et, surtout, la résistance aux transferts de vapeur d'eau de l'étanchéité ;
- le type d'isolant (MW, EPS, PUR, XPS, par exemple) ;
- la présence ou non d'un pare-vapeur (résistance aux transferts de vapeur d'eau) ;
- le type de revêtement intérieur.

Le (Tableau 22) fournit une liste de propriétés des matériaux et indique les sources pour les valeurs tabulées et les méthodes de mesure.

▲ Tableau 22 : Liste des propriétés des matériaux

Caractéristique		Symbole	Valeurs tabulées	Méthode d'essais
Masse volumique sèche		ρ	Règles Th U fascicule 2	EN 1602
Porosité		ϵ		
Chaleur spécifique		C	Règles Th U fascicule 2	NF EN 821-3
Conductivité thermique	Sèche	λ_s		NF EN 12667
	Courbe en fonction de la température	λ_T		PR NF EN ISO 22007
	Courbe en fonction de l'humidité	λ_Φ		PR NF EN ISO 22007
Résistance aux transferts de vapeur d'eau		μ	Règles Th U fascicule 2	NF EN ISO 12572
Courbe de sorption		W_Φ		NF EN ISO 12571
Perméabilité d'eau liquide		K_l		NF EN ISO 15148

Les caractéristiques disponibles doivent être choisies dans l'ordre de préférence suivant :

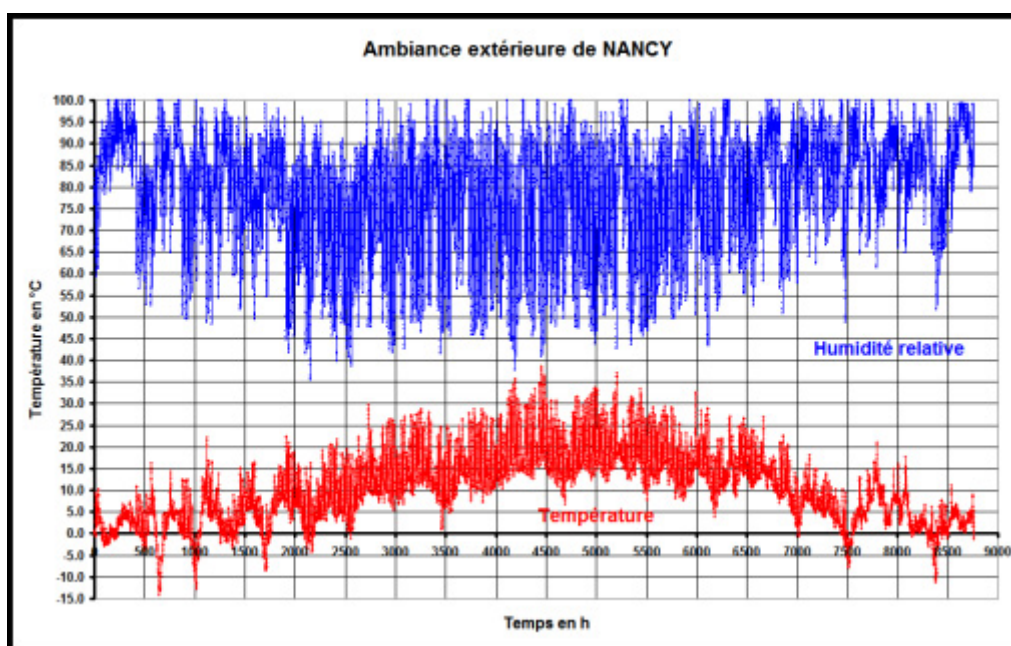
- premier choix : valeurs mesurées par des laboratoires notifiés ;
- second choix : valeurs tabulées.

Les caractéristiques de sorption des panneaux de contreventement et des isolants doivent être mesurées par un laboratoire notifié.

La résistance des panneaux de contreventement et des films barrières aux transferts de vapeur d'eau doit être mesurée par un laboratoire indépendant.

4.2.1.3. • Climat extérieur

Les ambiances intérieures et extérieures ont une incidence non négligeable sur les transferts hygrothermiques. Elles varient largement en fonction de l'implantation du bâtiment considéré : Nancy, climat de montagne, Nice, Brest, etc. Pour les simulations, le climat de Nancy peut être considéré comme un des plus contraignants du point de vue des risques de condensation pour un climat de plaine en France métropolitaine.



▲ Figure 22 : Exemple d'ambiance extérieure

4.2.1.4. • Conditions intérieures

En ce qui concerne les simulations pour la détermination des risques de condensation, le climat intérieur est défini à partir de la quantité d'eau contenue dans l'air extérieur. Il faudra y rajouter 5 g/m³ de vapeur d'eau, sauf du 1^{er} mai au 30 septembre, période à laquelle on considère que l'ouverture des fenêtres est suffisante pour l'évacuation de la vapeur d'eau produite.

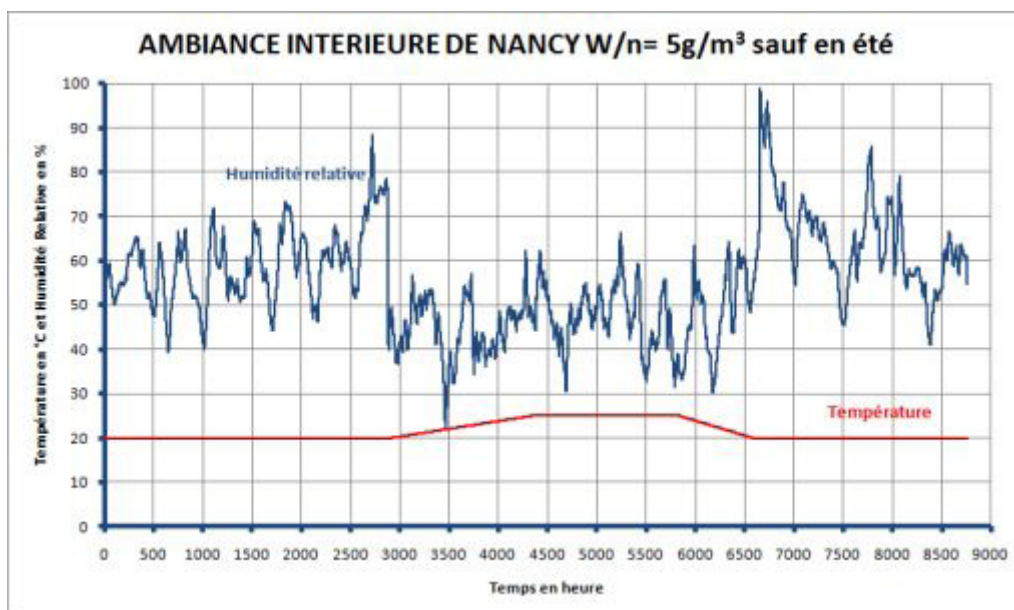
▲ Tableau 23 : Excès d'humidité pour chaque classe d'hygrométrie

Classe d'hygrométrie	W/n	Bâtiment
Faible	$W/n \leq 2,5 \text{ g/m}^3$	Zone de stockage, bureau, commerce
Moyenne	$2,5 \text{ g/m}^3 < W/n \leq 5 \text{ g/m}^3$	Logement à faible taux d'occupation
Forte Très forte	Non visé dans ce document	

La température intérieure peut être prise :

- égale à 20 °C du 1^{er} octobre au 30 avril ;
- égale à 25 °C du 1^{er} juillet au 31 août ;

- croissante linéairement entre le 1^{er} mai et le 30 juin de 20 °C à 25 °C ;
- décroissante linéairement entre le 1^{er} septembre et le 30 septembre de 25 °C à 20 °C.

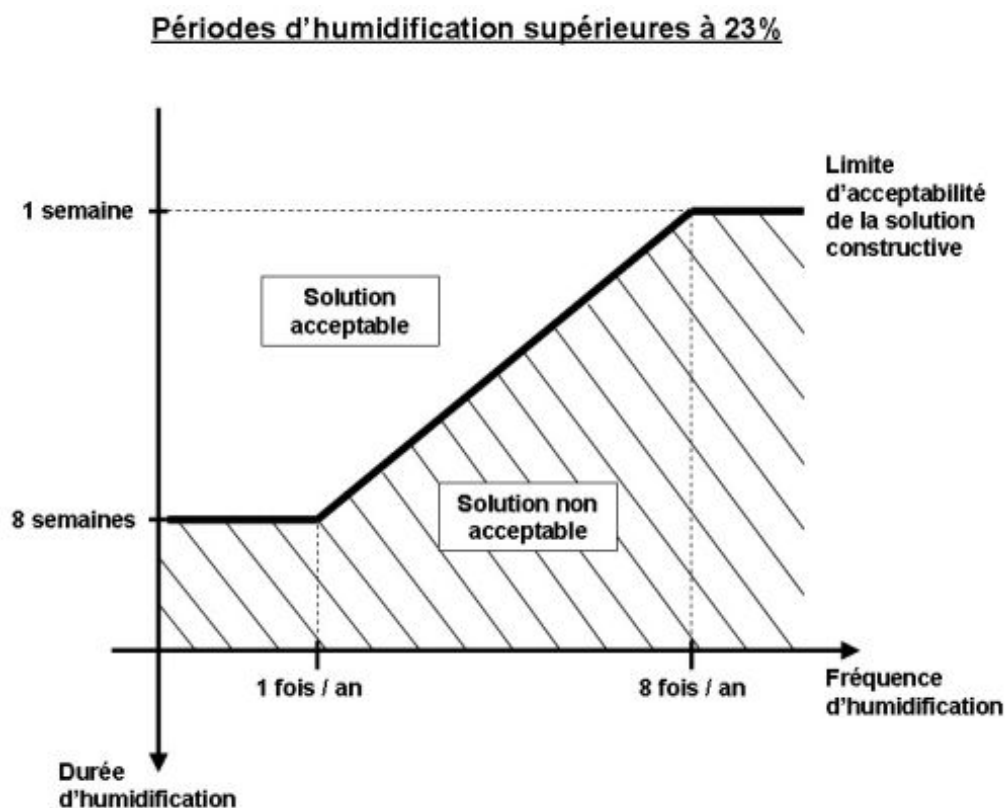


▲ Figure 23 : Exemple d'ambiance intérieure avec production résultante de vapeur de 5 g/m³ en période hivernale et sans production en été

4.2.1.5. • Critères d'acceptabilité

Une paroi, pour être jugée satisfaisante, ne pourra présenter qu'occasionnellement (moins de huit semaines par an) une humidité supérieure à 23 % en masse. Cette limite de 23 % est basée sur des travaux en laboratoire et sur des expériences reconnues, et réussies, prenant en compte les diverses conditions de germination des spores et les hypothèses de calcul décrites ci-dessus. À noter que la durée de huit semaines au-delà de 23 % est défavorable, même si elle est atteinte en plusieurs fois une semaine. Les périodes au-delà de 23 % inférieures à une semaine ne seront pas comptabilisées, n'étant pas suffisamment longues pour provoquer le développement fongique.

Le graphique ci-après (Figure 24) montre l'acceptabilité d'une solution constructive en fonction des éléments exposés ci-dessus.



▲ Figure 24 : Représentation des limites d'acceptabilité

Une autre propriété influant le comportement du matériau bois à l'humidité est sa capacité à pouvoir contenir à la fois de l'eau libre et/ou de l'eau liée. L'eau est dite « liée » ou « hygroscopique » quand elle est « retenue » chimiquement (liaisons hydrogènes) par les fibres de bois. Les molécules d'eau sont alors fixées dans le matériau lui-même. L'eau libre ou capillaire, donc liquide, apparaît dans le bois lorsque son taux d'humidité (en % en masse) dépasse le point de saturation des fibres. Le point de saturation des fibres est, pour les principales essences résineuses utilisées en structure, atteint lorsque l'humidité du bois dépasse 30 % en masse.

Les cas de calcul où l'humidité de bois ou des matériaux à base de bois (panneaux, isolants) dépasse 30 % sont donc également un critère rédhibitoire, la présence d'eau liquide dans une paroi fermée étant très difficile à évacuer.

Les condensations apparaissent quand les conditions de température et d'humidité dans un point du matériau dépassent les conditions de saturation de la vapeur d'eau.

Pour une même teneur en eau, les conditions de saturation seront atteintes plus facilement si la température baisse.

Dans ce cas, une paroi ne doit pas comporter de barrière à la vapeur d'eau au-delà des 1/3 intérieur de la résistance thermique globale de la paroi. En effet, si elle se situe au-delà de cette limite (plus près de l'extérieur) les constituants intérieurs emmagasineront la vapeur d'eau produite à l'intérieur de l'habitation et sa température diminuant en

allant vers l'extérieur, celle-ci sera plus basse que la température de rosée (conditions de saturation).

Les parois considérées dans cette étude sont concernées par cette limitation.

La barrière à la vapeur d'eau est constituée par un pare-vapeur ou par le CLT qui est une barrière étanche par rapport à un isolant fibreux.

4.2.2. • Exemples de résultats

Les configurations évaluées dans ce paragraphe sont identiques à celles présentées dans la partie 4.1.2.2. § « Méthodes de calcul » pour les performances thermiques. Nous reprenons ci-dessous la numérotation des types de paroi avec l'indication de la nécessité ou non d'implanter un pare-vapeur. Lorsque ce dernier est nécessaire, il doit systématiquement être implanté du côté intérieur de l'isolant.

Il s'agit d'exemples de résultats pour un ensemble de données courantes. De plus, les points singuliers traités dans ces exemples ne représentent pas l'ensemble des cas imaginables pour des ouvrages réels. Chaque ouvrage est particulier et doit faire l'objet d'une évaluation propre.



Attention

Lorsqu'un pare-vapeur est utilisé, il doit être posé avec soin afin qu'il soit totalement continu et ne présente pas de trous. Il convient d'être attentif à tous les points singuliers, notamment au niveau des liaisons entre parois même si l'une d'entre elles ne nécessite pas de pare-vapeur.

Parois verticales :

- mur avec isolation par l'extérieur de type bardage ventilé ME1 : pas de risque de condensation ;
- mur avec isolation répartie 2/3 en extérieur et 1/3 en intérieur ME2 : pas de risque de condensation ;
- mur avec isolation intérieure ME3 : nécessité d'un pare-vapeur.

Parois horizontales et inclinées :

- plancher bas sur vide sanitaire isolé sous chape D1 : pas de risque de condensation ;
- planchers bas sur vide sanitaire isolé en sous-face D2 : pas de risque de condensation.

Plancher haut :

- toiture-terrasse conforme au DTU 43.4 (cas E1 et E2) : nécessité d'un pare-vapeur ;

- toiture avec sarking sur panneau CLT (cas C1) : pas de risque de condensation ;
- couverture sur ossature fixée sur panneau CLT (cas C2) : pas de risque de condensation ;
- toiture isolée par l'intérieur sur ossature fixée sur panneau CLT (cas C3) : nécessité d'un pare-vapeur.

Au niveau de la liaison entre deux parois, un pare-vapeur doit être implanté de manière continue dès que l'un des deux types de paroi le nécessite.

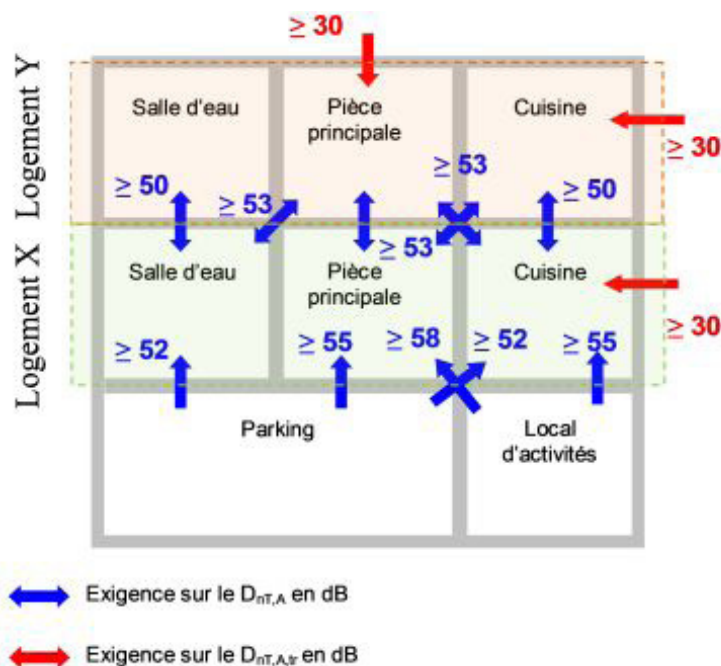
4.3. • Aspect acoustique

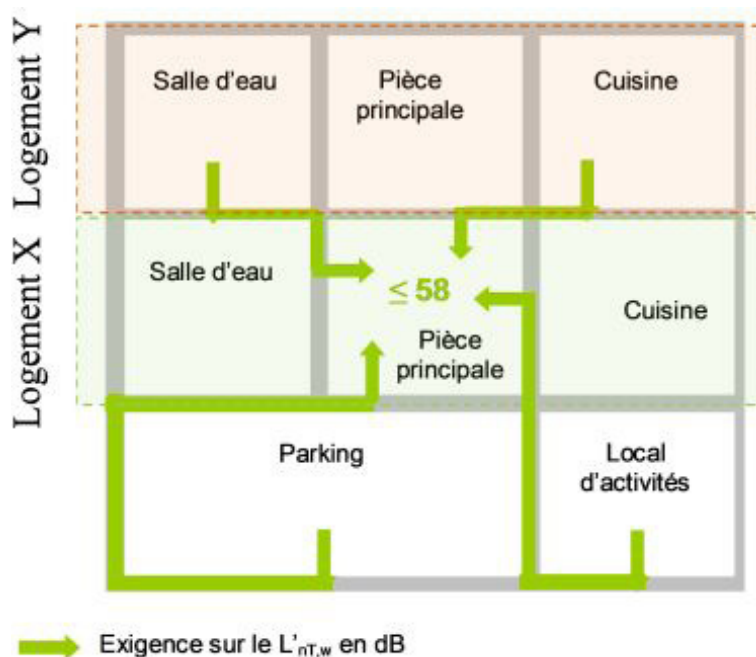
4.3.1. • Rappel réglementaire

Les réglementations acoustiques françaises sont des réglementations de résultat et non de moyens, ce n'est donc pas la performance propre des produits ou des systèmes qui est visée, mais la performance globale du bâtiment. Donc, pour concevoir un bâtiment de façon à ce qu'il puisse atteindre les exigences fixées, il est nécessaire de bien connaître la performance des systèmes qui le composent ainsi que leurs connexions.

À ce jour, il existe quatre domaines principaux réglementés sur le plan acoustique pour les bâtiments neufs ou les extensions de bâtiment :

- bâtiment d'habitation : arrêté du 30 juin 1999 ;
- hôtel : arrêté du 25 avril 2003 ;
- établissement d'enseignement : arrêté du 25 avril 2003 ;
- établissement de santé : arrêté du 25 avril 2003.





▲ Figure 25 : Exigences réglementaires pour les bâtiments d'habitation. Isolement au bruit aérien et au bruit d'impact (non exhaustif)



▲ Figure 26 : Passage de la performance des produits à la performance de l'ouvrage

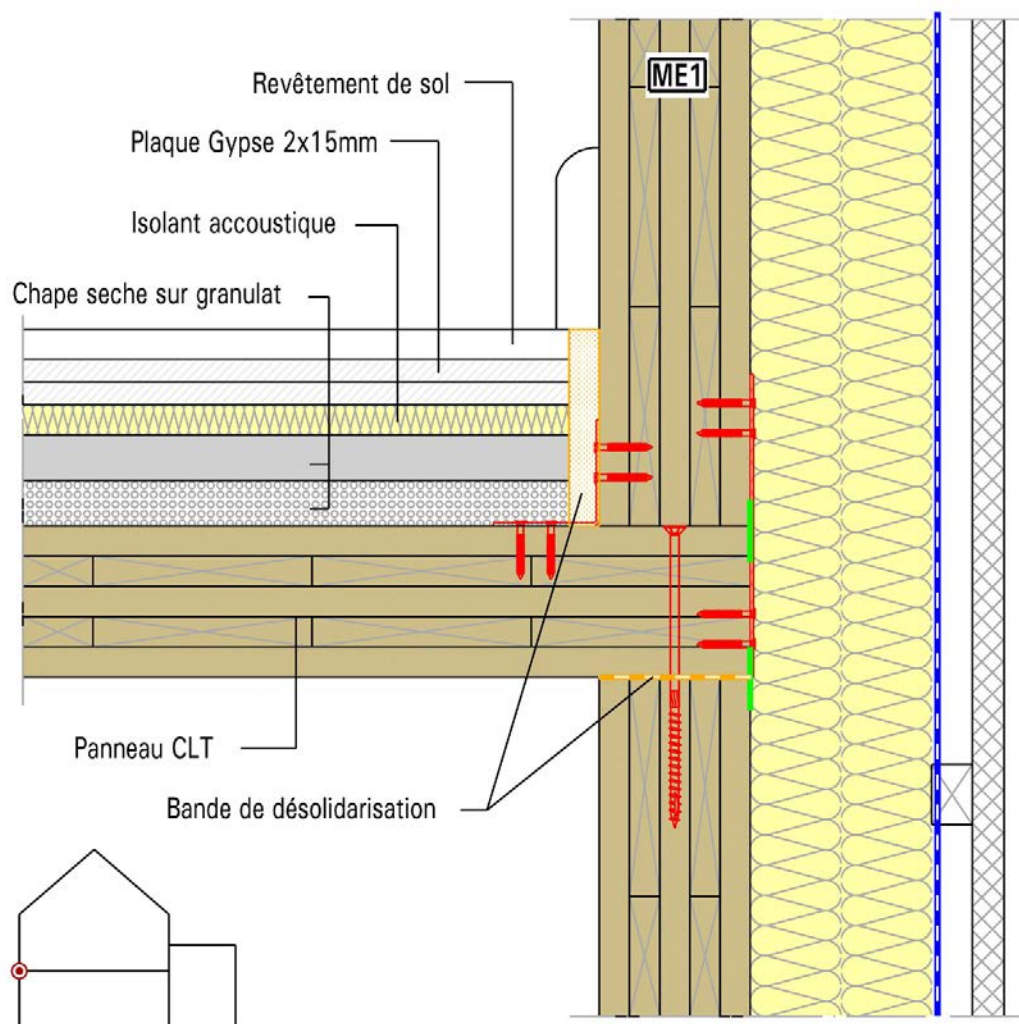
Le système constructif, objet de ce guide, étant soit un plancher (intermédiaire ou haut), soit un mur séparatif ou une façade, la contrainte acoustique porte autant sur l'isolement aux bruits aériens que sur le niveau des bruits de choc.

Les panneaux CLT composent à la fois les parois verticales et les parois horizontales (ne sont pas ici considérées les constructions bois mixtes de type plancher en bois massif avec une façade sur ossature en bois ou l'inverse).

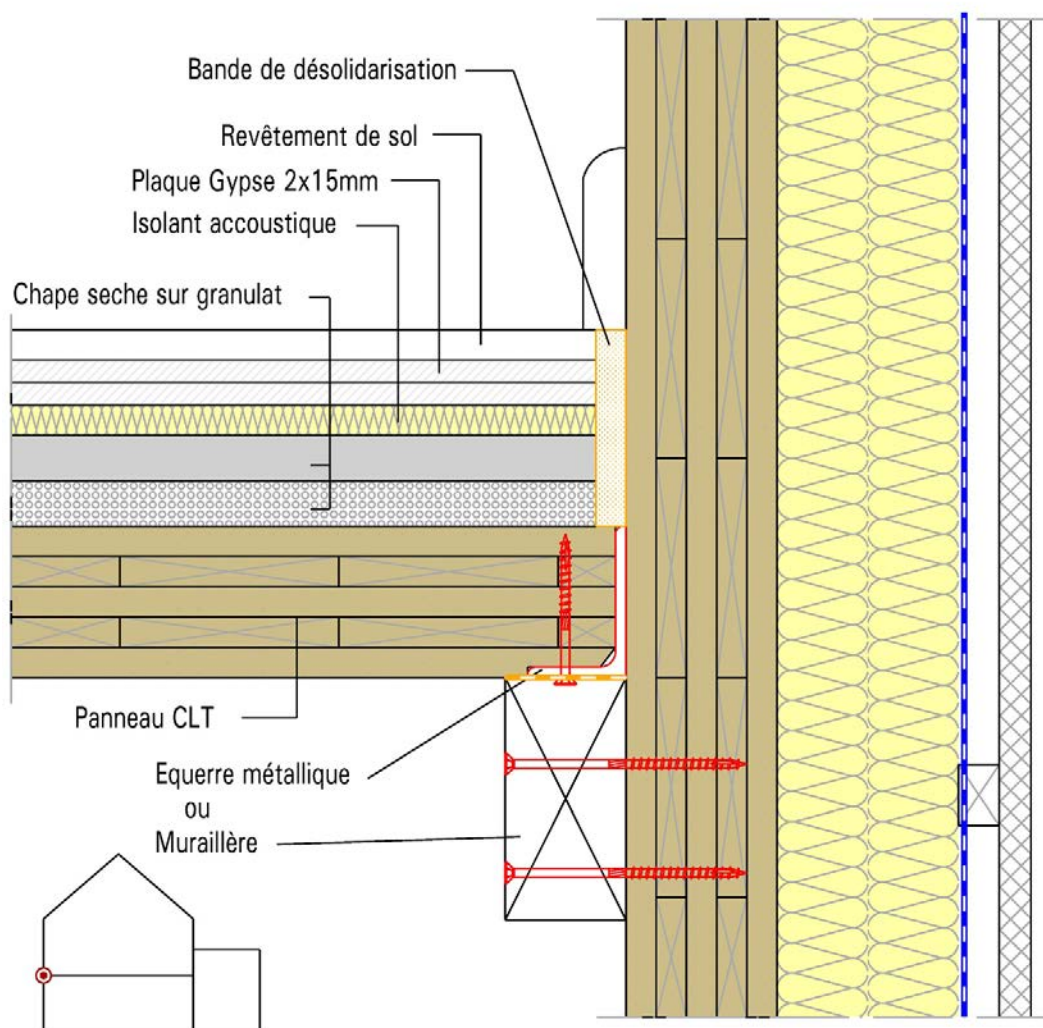
4.3.2. • Description succincte des systèmes rencontrés et de leur environnement technique

Les systèmes considérés dans ce guide sont :

- panneaux CLT sous Avis Technique ;
- système composé de plusieurs plis de 17 à 45 mm d'épaisseur pour une épaisseur totale entre 50 et 350 mm ;
- la masse volumique moyenne est autour de 420 kg/m^3 ;
- pour les parois verticales intérieures : doublage en plaques de plâtre sur tasseaux bois directement fixés au support ou sur ossature métallique indépendante, avec matériau isolant ;
- pour les façades : côté intérieur avec système de doublage similaire à celui d'une paroi verticale intérieure ; côté extérieur avec système d'isolation thermique par l'extérieur ;
- pour les planchers : revêtement de sol comprenant ou pas un système flottant (sec ou fluide) et un plafond suspendu en plaques de plâtre avec matériau isolant ;
- fixation entre éléments verticaux et horizontaux : les éléments horizontaux sont soit pris en sandwich entre les éléments verticaux (élément horizontal continu comme montré à la (Figure 27), soit en appui sur les éléments verticaux (élément vertical continu comme montré à la (Figure 28). Les différents éléments sont vissés entre eux et la liaison est renforcée par des équerres d'assemblage. Des joints peuvent être utilisés entre les différents éléments ;
- fixation entre éléments verticaux : un des deux éléments est généralement continu (la façade, par exemple). Les différents éléments sont vissés entre eux et la liaison est renforcée par des équerres d'assemblage. Des joints peuvent être utilisés entre les différents éléments.



▲ Figure 27 : Appui sur mur



▲ Figure 28 : Appui sur élément rapporté

4.3.3. • Effets sur l'acoustique

Les informations données dans cette partie sont illustrées par des exemples qui ne pourront être pris que comme des généralités. De plus, il n'y a pas d'exhaustivité dans les systèmes décrits.

Les panneaux CLT sont considérés comme des parois simples dont le comportement acoustique suit la loi de masse. Étant donné que leur masse volumique est de l'ordre de 500 kg/m^3 , leur utilisation dans l'ouvrage impose des doublages pour le respect des exigences acoustiques. Le doublage des parois horizontales et verticales est réalisé par les moyens cités précédemment.

À noter en premier lieu que, du point de vue acoustique, les panneaux CLT ne peuvent pas être considérés comme éléments légers ni comme des éléments lourds [1]. Ainsi, la performance acoustique aux bruits aériens associée à un traitement (sur paroi verticale ou horizontale) peut s'exprimer en termes de ΔR par bande de tiers d'octave ($\Delta R = R_{\text{support}} + \text{traitement} - R_{\text{support}}$) et de $\Delta(R_w + C)_{\text{direct}}$ ou $\Delta(R_w + C_{\text{tr}})$ pour l'indice global. Quant à la performance aux bruits de choc d'un traitement en sous-face ou en sur-face d'un plancher, elle peut

s'exprimer en termes de ΔL par bande de tiers d'octave ($\Delta L = L_{n_{\text{support}}} - L_{n_{\text{support} + \text{traitement}}}$), mais il n'existe pas d'indice global défini de manière normative comme aucun plancher de référence ne correspond à un panneau CLT ; $\Delta (L_{n,w})$ est quelque fois utilisé (indice non normalisé actuellement).

Les données acoustiques sur ce type de panneaux CLT ne sont pas très nombreuses en France et les principaux types de doublage sont évalués sur des parois lourdes en béton tant en horizontal qu'en vertical. Il n'est donc pas possible d'appliquer directement le gain obtenu sur ces parois aux panneaux CLT. Les données de mesures en laboratoire accessibles à ce jour semblent indiquer que la performance ΔR par bande de tiers d'octave évaluée sur un support lourd (béton de 160 mm pour paroi verticale et béton de 140 mm pour paroi horizontale) puisse être utilisée comme performance pénalisante sur un panneau CLT.

Cependant, pour la performance aux bruits de choc des systèmes de traitement en surface (revêtement de sol souple, système flottant, etc.), la performance ΔL par bande de tiers d'octave évaluée sur un des planchers légers de référence sera utilisée comme performance pénalisante sur un panneau CLT). Ces règles sécuritaires peuvent permettre une première estimation de la performance acoustique d'un composant et d'un ouvrage ; des mesures acoustiques spécifiques sont bien évidemment à privilégier.

Il faut noter la différence entre la performance acoustique des panneaux contrecollés avec leurs différents traitements composant l'ouvrage et la performance de l'ouvrage. En effet, la performance acoustique de l'ouvrage intègre la transmission directe associée à la paroi séparative (directement reliée à la performance du composant), les transmissions latérales et, éventuellement, les transmissions parasites. Ainsi, la performance acoustique d'un composant n'est pas suffisante pour évaluer la performance de l'ouvrage. Cependant, la performance acoustique d'une paroi séparative doit être suffisante pour qu'au moins la transmission acoustique directe dans le bâtiment considéré par le composant séparatif atteigne le niveau minimal requis par la réglementation.

Il n'existe pas à ce jour de méthode de prédiction de la performance acoustique de l'ouvrage pour des bâtiments construits en panneaux CLT. Il est donc nécessaire de mener une étude acoustique particulière ; cependant, il semble que la méthode européenne EN 12354 puisse être appliquée même si elle peut être pénalisante vis-à-vis de la performance.

4.3.4. • Isolement au bruit aérien entre deux locaux

4.3.4.1. • Performances

Performance de la paroi verticale et horizontale : $(R_w + C)$ en dB

L'indice d'affaiblissement acoustique dépend principalement de l'épaisseur du panneau CLT et, éventuellement, sa densité.

Performance des traitements : $\Delta(R_w + C)_{direct}$ en dB

Les traitements en sous-face de plancher de type plafond suspendu améliorent généralement la performance acoustique du plancher de base.

Les traitements en surface de plancher peuvent être de plusieurs types : chape flottante, revêtement de sol plastique, parquet flottant, etc. Suivant le type, ils peuvent détériorer ou améliorer la performance du plancher de base. L'amélioration est généralement plus faible que celle apportée par un plafond suspendu.

Les doublages de paroi verticale améliorent généralement la performance acoustique de la paroi de base ; les doublages thermiques rigides (mousse PU, polystyrène) peuvent cependant dégrader la performance acoustique. Les doublages thermo-acoustiques sur ossature indépendante sont les plus performants du point de vue acoustique.

L'amélioration aux bruits aériens $\Delta(R_w + C)_{direct}$ en dB dépend généralement du panneau CLT support, du type de traitement et de son montage.

Performance de l'ouvrage : isolement acoustique au bruit aérien $D_{n,T,A} = D_{nT,w} + C$ en dB

L'isolement acoustique entre deux locaux dépend des caractéristiques des différentes parois et des connexions entre elles, ainsi que de la taille des locaux.

Le niveau réglementaire est de 53 dB entre les pièces principales du logement.

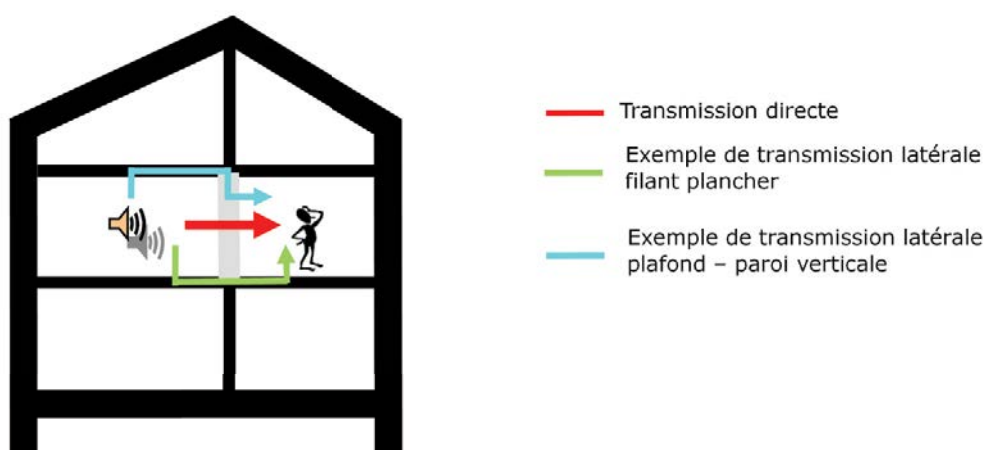
Isolement vertical :

- transmission directe par le plancher en panneaux CLT : elle dépend de la performance du plancher de base et des traitements en surface et en sous-face. On utilisera de préférence un système flottant en surface et un plafond suspendu en sous-face du plancher pour viser une solution satisfaisante vis-à-vis de la réglementation ;

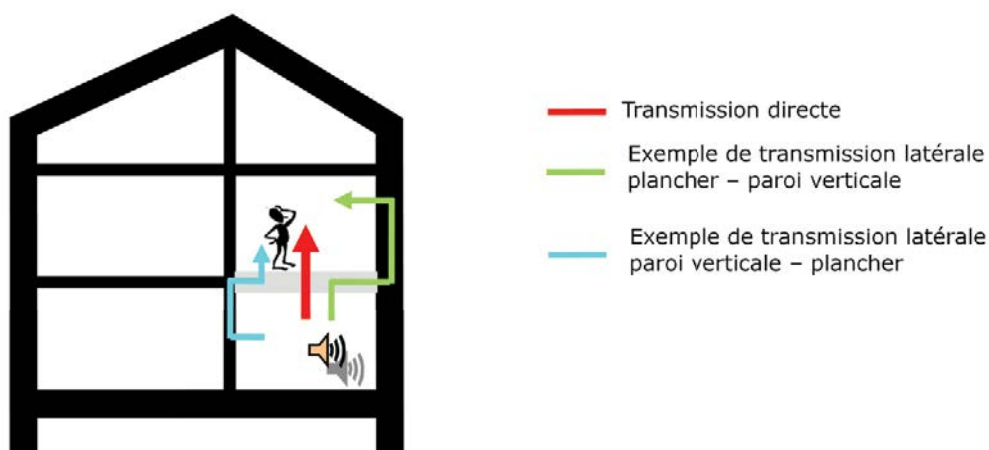
- transmissions latérales : elles dépendent de la performance acoustique des différentes parois en jeu et du mode d'accrochage du plancher sur les murs verticaux. Il est possible, d'appliquer la méthode européenne EN 12354 pour les transmissions directes et latérales permettant de prédire la performance acoustique de l'ouvrage en considérant soit le plancher filant (élément horizontal continu), soit la paroi verticale filante (élément vertical continu) suivant la jonction entre les éléments verticaux et horizontaux. L'approche de conception est alors standard.

Isolement horizontal :

- transmission directe par une paroi verticale : elle dépend de la performance de la paroi en panneaux contrecollés de base et des doublages utilisés. On utilise de préférence un doublage sur ossature métallique indépendante de part et d'autre de la paroi ;
- transmissions latérales : les transmissions latérales mettant en jeu le plancher et un mur vertical sont évaluées comme indiqué précédemment. La transmission latérale plancher-plancher peut être évaluée suivant la méthode européenne EN 12354 en considérant soit le plancher filant (élément horizontal continu), soit la paroi verticale filante (élément vertical continu) suivant la jonction entre les éléments verticaux et horizontaux.



▲ Figure 29 : Transmission horizontale des bruits aériens entre deux locaux côte à côte



▲ Figure 30 : Transmission verticale des bruits aériens entre deux locaux superposés

4.3.4.2. • Niveau de bruit d'impact entre deux locaux

Performance du plancher : $L_{n,w}$ en dB

Le niveau de bruit d'impact du plancher de base dépend principalement de l'épaisseur du panneau CLT et, éventuellement, de sa densité.

Performance des traitements du plancher : $\Delta L_{t,i,w}$ en dB

($\Delta L_{t,i,w}$ en dB pris dans l'hypothèse d'un plancher de référence i correspondant à la norme NF EN ISO 10140-5 [1].)

Les traitements en surface améliorent généralement la performance acoustique du plancher de base.

L'amélioration aux bruits d'impact $\Delta L_{t,i,w}$ en dB dépend du plancher support.

Performance de l'ouvrage : niveau de bruit d'impact $L'_{nT,w}$ en dB

Il dépend des caractéristiques de différentes parois et de leur connexion entre elles, ainsi que de la taille des locaux.

Le niveau réglementaire est de 58 dB entre les pièces principales du logement.

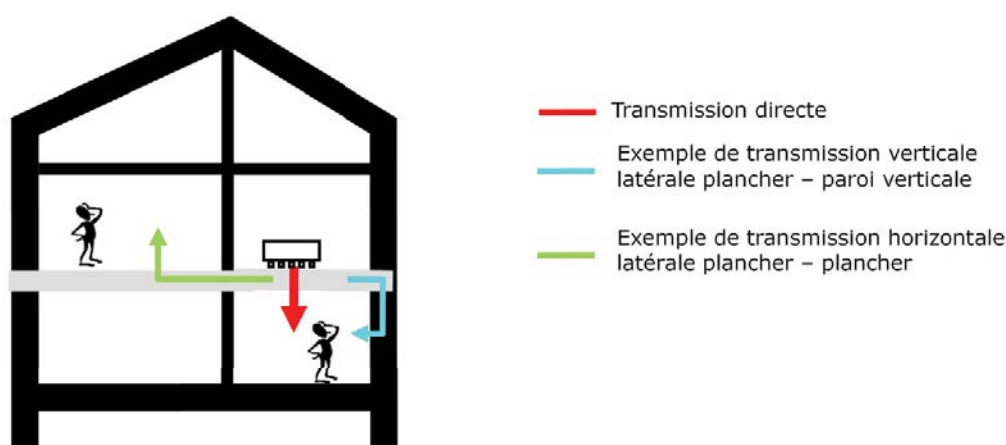
Isolement vertical

- Transmission directe par le plancher : elle dépend de la performance du plancher de base et des traitements en surface et en sous-face. On utilise de préférence un système flottant en surface et un plafond suspendu en sous-face du plancher.
- Transmissions latérales : elles dépendent de la performance acoustique des différentes parois en jeu et du mode d'accrochage entre les éléments verticaux et horizontaux.

Il est possible d'appliquer la méthode européenne EN 12354 pour les transmissions directes et latérales permettant de prédire la performance acoustique de l'ouvrage en considérant soit le plancher filant (élément horizontal continu), soit la paroi verticale filante (élément vertical continu) suivant la jonction entre les éléments verticaux et horizontaux. L'approche de conception reste donc standard.

Isolement horizontal

- Transmissions latérales : les transmissions latérales mettant en jeu le plancher et un mur vertical seront évaluées comme indiquées au point précédent.
- La transmission latérale plancher-plancher pourra être évaluée suivant la méthode européenne EN 12354 en considérant soit le plancher filant (élément horizontal continu) soit la paroi verticale filante (élément vertical continu) suivant la jonction entre les éléments verticaux et horizontaux.



▲ Figure 31 : Transmission des bruits d'impact entre deux locaux

4.3.4.3. • Isolement au bruit aérien vis-à-vis de l'extérieur (façade et plancher haut – toiture-terrasse)

Performance du système : $R_w + C_{tr}$ en dB

Le plancher haut en toiture-terrasse est traité par un isolant thermique et une couche d'étanchéité à l'extérieur et un plafond suspendu par l'intérieur. L'indice d'affaiblissement de ce système dépend de l'épaisseur du plancher en bois en panneaux contrecollés et de la composition du plafond suspendu.

La façade est traitée par un isolant thermique en extérieur ou/et en intérieur. Un revêtement intérieur en plaques de plâtre est généralement utilisé ; dans le cas d'une isolation thermique par l'intérieur, un doublage sur ossature métallique est préférable. L'indice

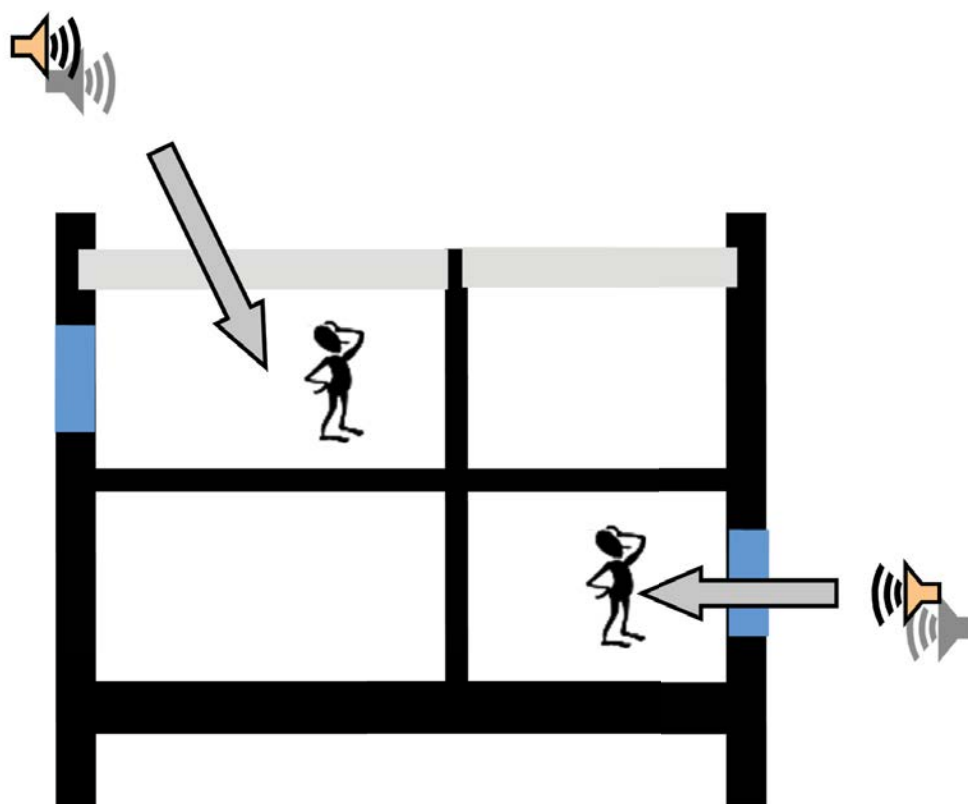
d'affaiblissement de ce système dépend de l'épaisseur de la façade en panneaux contrecollés et des systèmes d'isolation thermique mis en œuvre.

*Performance de l'ouvrage : isolement acoustique
au bruit aérien $D_{n,T,A,tr} = D_{n,T,w} + C_{tr}$ en dB*

Le niveau réglementaire est de 30 dB au minimum.

Sauf dans des cas extrêmes ou un isolement vis-à-vis de l'extérieur supérieur à 40 dB serait recherché, la performance du système de façade opaque ou de plancher haut (toiture-terrasse) ne constitue pas l'élément faible de l'enveloppe qui, fréquemment, se trouve être la menuiserie et ses accessoires.

En présence de fenêtres sur la façade verticale, le dimensionnement peut se faire sur la base de la méthode européenne EN 12354.



▲ Figure 32 : Transmission des bruits aériens extérieurs

4.3.5. • Quelques exemples de performance acoustique de composants

Sont ici présentés quelques exemples de performance acoustique de parois verticales et horizontales comprenant un panneau contrecollé. Les données indiquées sont basées sur des résultats de mesure en laboratoire ou de simulations.

▲ Tableau 24 : Exemple de performance pour un séparatif intérieur vertical

Systèmes	$R_w + C$ en dB
Panneau 94 à 146 mm	≈ 34 à 39
BA13 + panneau 94 mm + BA13 (plaques de plâtre vissées directement sur le panneau)	≈ 36
Panneau 94 mm + contre-cloison sur tasseaux bois 45 mm de matériau fibreux ⁽¹⁾ + 2BA13	≈ 45
Panneau 94 mm + contre-cloison sur ossature indépendante 45 mm de matériau fibreux ⁽¹⁾ + 2BA13	≈ 54
Contre-cloison sur tasseaux bois 2BA13 + 45 mm de matériau fibreux ⁽¹⁾ + panneau 94 mm + contre-cloison sur tasseaux bois 45 mm de matériau fibreux ⁽¹⁾ + 2BA13	≈ 46
Contre-cloison sur ossature indépendante 2BA13 + 45 mm de matériau fibreux ⁽¹⁾ + panneau 94 mm + contre-cloison sur ossature indépendante 45 mm de matériau fibreux ⁽¹⁾ + 2BA13	≈ 63
BA13 + panneau 94 mm + cavité remplie de matériau fibreux ⁽¹⁾ de 60 mm + panneau 94 mm + BA13	≈ 55
BA13 + panneau 94 mm + cavité remplie de matériau fibreux ⁽¹⁾ de 2 x 60 mm + panneau 94 mm + BA13	≈ 58
1. Laine minérale, laine de bois, etc.	

▲ **Tableau 25** : Exemple de performance pour une façade verticale

Systèmes	$R_w + C_{tr}$ en dB
Panneau 94 à 146 mm	≈ 31 à 35
Bardage + isolation thermique en matériau fibreux 140 mm + panneau 94 mm avec BA13 vissé directement	≈ 36-38
Bardage + isolation thermique en matériau fibreux 140 mm + panneau 94 mm avec contre-cloison sur tasseaux bois ou fourrure résiliente 45 mm de matériau fibreux + 1BA13	≈ 40
Bardage + isolation thermique en matériau fibreux 240 mm + panneau 94 mm + 1BA13 vissé directement	≈ 39

▲ **Tableau 26** : Exemple de performance pour un plancher bois-béton avec des traitements en surface et en sous-face

Systèmes	$R_w + C$ en dB	$L_{n,w}$ en dB
Panneau 115 à 146 mm	≈ 36 à 39	≈ 86 à 89
Panneau 115 à 146 mm + système flottant sec ⁽¹⁾	≈ 43	≈ 73
Panneau 115 à 146 mm + système flottant sec ⁽¹⁾ + plafond sur suspente métallique (100 mm matériau isolant fibreux + 1BA13)	≈ 57	≈ 55
Panneau 115 à 146 mm + système flottant sec ⁽¹⁾ + plafond sur suspente métallique (100 mm matériau isolant fibreux + 2BA13)	≈ 61	≈ 51
1. $\Delta L_w \approx 19$ dB sur plancher support en béton de 140 mm d'épaisseur.		

▲ **Tableau 27** : Exemple de performance pour des toitures

Systèmes	$R_w + C_{tr}$ en dB
Couche d'étanchéité + isolation thermique en polystyrène 200 mm + panneau 115 à 146 mm + plafond sur suspente métallique (60 mm matériau isolant fibreux + 1BA13)	≈ 39
Tuiles + isolation thermique en matériau fibreux 200 mm + panneau 115 à 146 mm	≈ 47
Tuiles + isolation thermique en matériau fibreux 200 mm + panneau 115 à 146 mm + plafond sur suspente métallique (60 mm matériau isolant fibreux + 2BA13)	≈ 50

4.3.6. • Exemple de solution acoustique pour un bâtiment de logements collectifs

L'exemple qui suit est proposé sur la base des exemples de performance de composant donnés dans la section précédente. Pour minimiser les transmissions latérales, une contre-cloison de part et d'autre du séparatif vertical est la solution recommandée ; la prise en compte d'un système flottant et d'un plafond suspendu pour le séparatif horizontal permet aussi de limiter les transmissions latérales. À noter que ces traitements (contre-cloison, système flottant et plafond suspendu) permettent aussi d'améliorer la transmission directe associée au composant séparatif. Dans le but d'avoir un bâtiment de logements collectifs réglementaires au niveau acoustique (avec une marge de plus de 1 dB et pour des petites pièces de type chambre de 9 m²), les prescriptions suivantes pour les composants peuvent s'appliquer :

- plancher séparatif entre logements : panneau CLT (entre 115 et 146 mm d'épaisseur), système flottant sec ou humide de performance d'au moins $\Delta L_w \approx 19$ dB sur plancher support en béton de 140 mm d'épaisseur, et un plafond sur ossature métallique avec 60 à 100 mm de matériau fibreux et deux couches de plaques de plâtre BA13 ;
- paroi verticale séparative entre logements : panneau CLT (entre 94 et 115 mm d'épaisseur) avec, de chaque côté, une contre-cloison sur ossature métallique indépendante avec 45 mm de matériau fibreux (laine minérale, laine de bois, etc.) et deux couches de plaques de plâtre BA13 ; ou double cloison désolidarisée en panneau CLT (entre 94 et 115 mm d'épaisseur) séparés d'environ 100 mm remplie d'absorbant avec un habillage en plaques de plâtre BA13 ;
- façade : les éléments ouvrants (fenêtres, portes-fenêtres) sont généralement prépondérants par rapport à l'isolement de façade. Cependant, une façade de performance minimale $R_w + C_{tr}$ de 40 dB est proposée pour des solutions d'isolement de façade 30 dB (minimum imposé). Néanmoins, un doublage intérieur sur ossature métallique indépendante avec un matériau isolant fibreux de 45 mm et une plaque de plâtre BA13 permet de limiter les chemins de transmission latérale passant par la façade ;
- toiture : si la toiture ne présente pas d'ouverture (fenêtre de toit), les exemples proposés dans le (Tableau 4) permettent d'atteindre l'isolement de façade minimal de 30 dB et même de 35 dB. En présence d'une fenêtre de toit, le choix de la fenêtre vis-à-vis de sa performance doit se faire en fonction de la performance de la toiture et du volume de la pièce concernée. Il faut rester vigilant pour l'isolement entre deux logements au dernier étage par rapport aux transmissions latérales par des combles perdus ou par

le plafond sous toiture (dans ce cas, le plafond est forcément discontinu d'un logement à l'autre).

Cette solution proposée n'est certainement pas optimisée ; un modèle spécifique approprié pour les ouvrages avec panneaux contrecollés doit être développé en prenant en compte les particularités de ces composants (position fréquentielle de la fréquence critique, amortissement important, isolement vibration des jonctions, etc.).

4.4. • Aspects structuraux

4.4.1. • Contexte général

Le présent document présente des indications relatives au dimensionnement des structures composées de panneaux CLT. La méthode exacte à utiliser ainsi que les prescriptions de conception liées à un procédé particulier sont inscrites dans l'Avis Technique dont il relève.

4.4.2. • Dimensionnement des planchers

4.4.2.1. • Conception

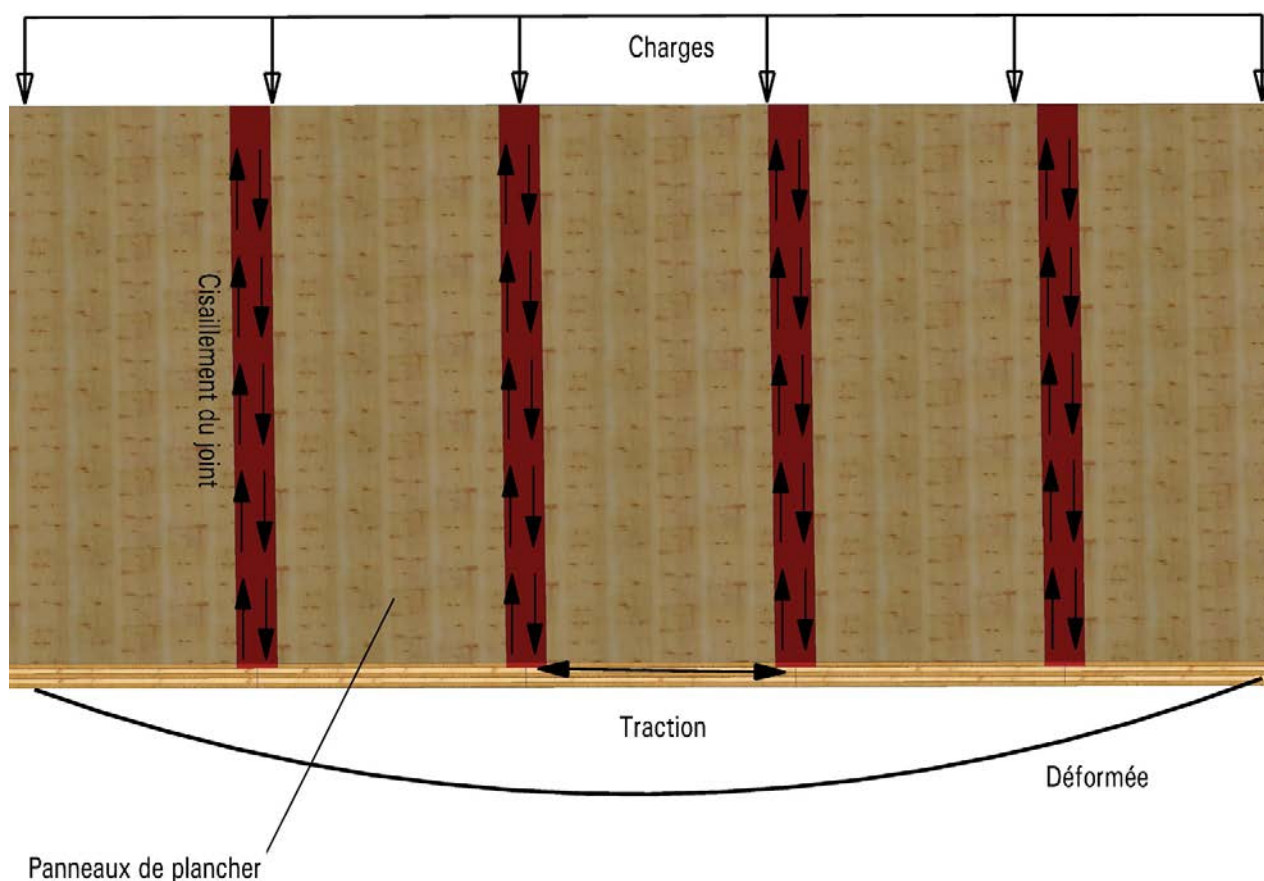
Bien que les panneaux CLT eux-mêmes permettent la reprise locale de flexion transversale (sens perpendiculaire au fil des plis externes), mais compte tenu de l'impossibilité qu'il y a à transmettre des moments entre panneaux adjacents, les planchers doivent être conçus et mis en œuvre de manière à fonctionner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

Lorsque les panneaux CLT utilisés comme planchers porteurs sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant trémie doivent faire l'objet d'une vérification. La méthode de dimensionnement des planchers CLT présentée en annexe est valable pour des panneaux de trois et cinq plis. Le dimensionnement est réalisé en appliquant les coefficients k_{mod} fonction de la classe de service et de la durée d'application des charges. Les flèches sont calculées en tenant compte du fluage par le coefficient k_{def} pris selon les valeurs définies pour le contreplaqué dans la norme NF EN 1995-1-1.

4.4.2.2. • Diaphragme

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

Le transfert des efforts dans le plancher dépend, notamment, de sa géométrie. L'analyse peut être menée en considérant le comportement du plancher comme celui d'une poutre plate c'est-à-dire proche de celui d'un mécanisme de poutre en treillis. Le calcul des efforts internes du diaphragme permet de dimensionner les joints entre éléments, et dans les assemblages avec les panneaux verticaux.



▲ Figure 33 : Schématisation du diaphragme

Il convient de vérifier :

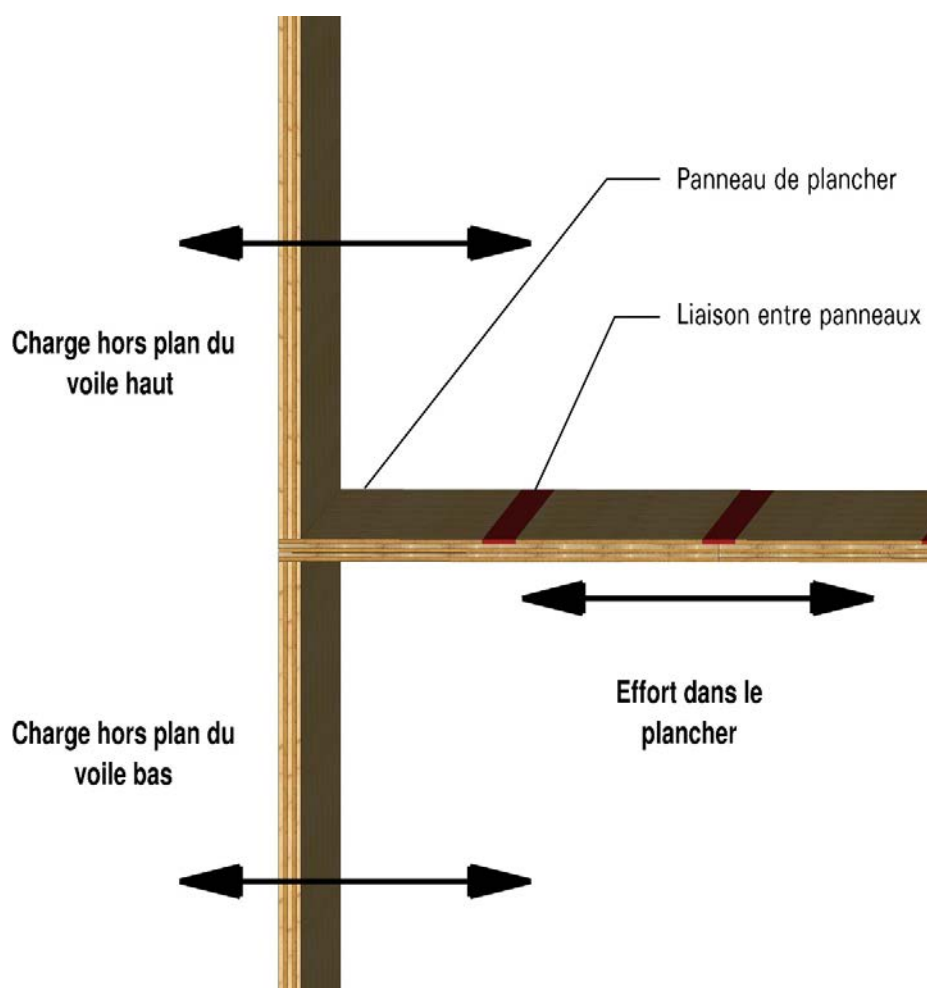
- la capacité des plis parallèles à l'axe de la charge en traction et compression ;
- la capacité des vis à transférer les efforts aux panneaux adjacents (effort de cisaillement) ;
- le dimensionnement du tirant en bord de plancher (pièce rapportée ou joints renforcés) ;
- la résistance des liaisons aux murs porteurs.

4.4.2.3. • Effet tirant-buton

Les planchers situés dans des ouvrages visés par la réglementation parasismique doivent présenter des performances suffisantes pour « accrocher » toutes les masses présentes à un étage au support. Cela revient à transférer l'effort dynamique induit par le séisme au niveau de ces masses vers les éléments de contreventement. Les masses à

accrocher sont essentiellement les voiles verticaux ainsi que les éventuelles charges ponctuelles significatives.

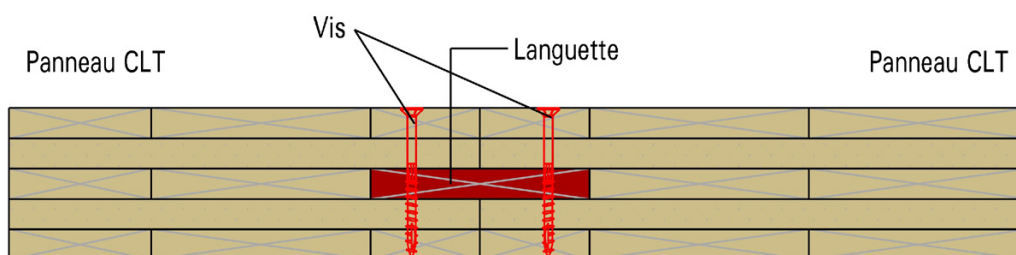
Le calcul de la performance des panneaux peut se faire en considérant les efforts de traction et de compression dans les plis orientés dans le sens de cet effort. Au niveau des joints, les éléments de liaison doivent être dimensionnés pour transférer les efforts de part et d'autre du joint. Les contraintes dans les éléments (notamment les assemblages) se cumulent avec celles induites par l'effet diaphragme.



▲ Figure 34 : Effet buton

4.4.2.4. • *Risque de pianotage*

Le risque de pianotage implique des dispositions constructives entre panneaux de plancher afin de transférer les efforts de part et d'autre des joints. La configuration à privilégier est l'insertion de languettes dans des rainures au milieu de l'épaisseur des panneaux.

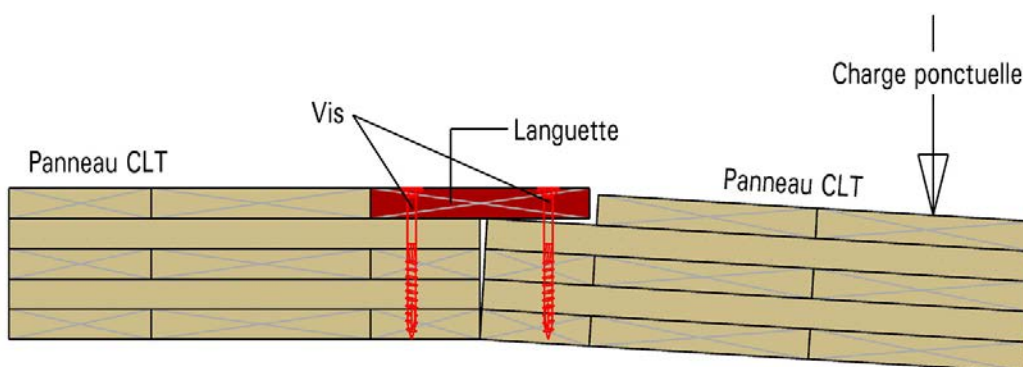


▲ Figure 35 : Principe de joint par languette

Dans ce cas, il convient de vérifier :

- la pièce de liaison au cisaillement longitudinal ;
- les vis en cisaillement.

D'autres configurations peuvent être utilisées, par exemple :



▲ Figure 36 : Pianotage

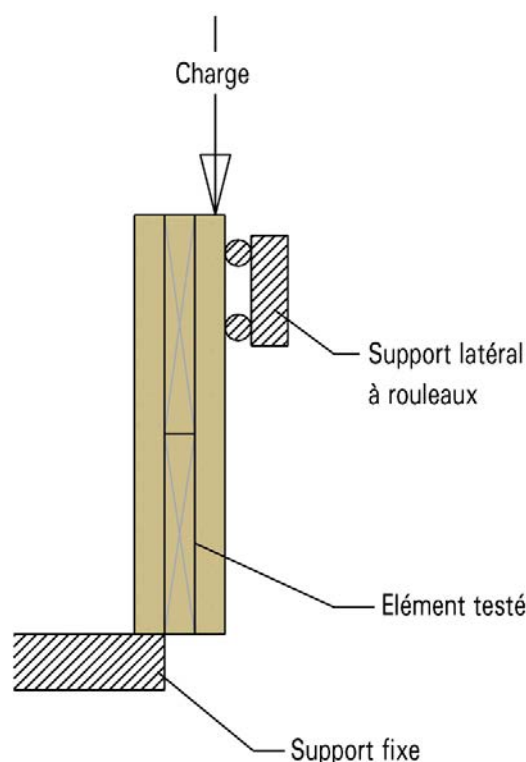
Dans ce cas il convient de vérifier :

- la pièce de liaison au cisaillement longitudinal ;
- les vis en arrachement ;
- les vis en cisaillement.

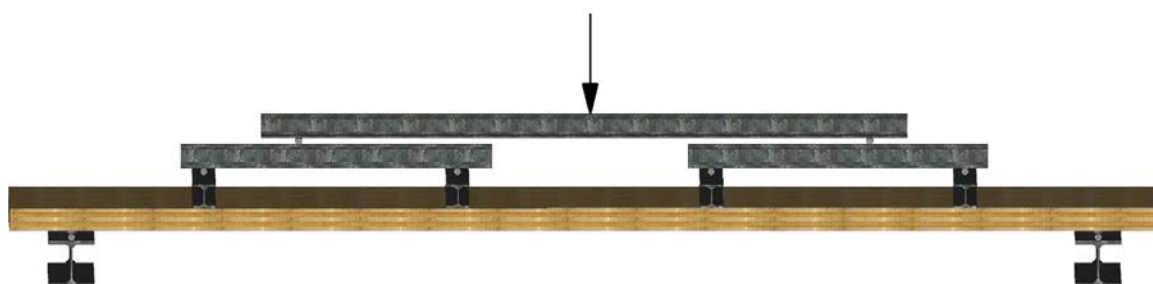
Les contraintes induites sur les vis doivent être considérées simultanément dans une combinaison linéaire.

4.4.2.5. • Identification des performances par essai

L'identification du module de cisaillement roulant d'un procédé de panneaux CLT donné peut être réalisée au moyen des essais décrits ci-dessous. Un essai de petite dimension permet de définir la valeur de manière directe. L'essai à échelle 1 permet de valider la valeur ou de la définir au moyen d'un calcul. L'idéal est de réaliser les deux types d'essai. Il est rappelé que la valeur à prendre en compte dans les calculs est définie dans les Évaluations Techniques Européennes (ATE) des procédés.



▲ Figure 37 : Essai sur petite maquette



▲ Figure 38 : Essai à échelle 1

4.4.3. • Dimensionnement des murs

4.4.3.1. • *Vérification en phase définitive des éléments porteurs verticaux soumis à des charges verticales*

La résistance des éléments porteurs verticaux soumis à des charges verticales dans leur plan doit être justifiée vis-à-vis du risque de flambement hors plan. Le calcul de l'élancement du panneau 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), et, d'autre part, le rayon de giration dont le calcul est donné ci-après. Le calcul de la contrainte majorée de compression est effectué suivant la norme NF EN 1995-1-1.

Les contraintes normales dues à l'effet des charges verticales agissant dans le plan du panneau sont calculées en faisant abstraction des plis



orientées perpendiculairement à ces charges. Cette considération est prise en compte par le calcul de valeurs de résistance en traction et compression en ramenant les valeurs du bois massif aux sections efficaces :

$$f_{t,0,d} = f_{t,0,k} \cdot \frac{A_{ef}}{A} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M} \quad f_{c,0,d} = f_{c,0,k} \cdot \frac{A_{ef}}{A} \cdot \frac{k_{mod}}{\gamma_M}$$

où :

$f_{t,0,k}$: la résistance caractéristique en traction axiale selon l'EN 338 ;

$f_{c,0,k}$: la résistance caractéristique en compression axiale selon l'EN 338 ;

A_{ef} : aire efficace de la section (aire des plis longitudinaux) ;

A : aire totale de la section ;

γ_m : coefficient de sécurité bois ;

k_{mod} : coefficient de modification.

Les rayons de giration sont calculés comme suit en considérant les moments quadratiques et sections des couches participant effectivement à la reprise des efforts :

$$i = \sqrt{\frac{I_{ef}}{A_{ef}}} \text{ avec } I_{ef} = I_{plein} \cdot \frac{E_{mean}}{E_{mean,C24}}$$

où :

E_{mean} : module d'élasticité moyen du bois considéré ;

$E_{mean,C24}$: module d'élasticité moyen d'un bois de classe C24 ;

I_{plein} : inertie de la section totale.

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

4.4.3.2. • Linteaux

Lorsque les panneaux CLT utilisés comme murs porteurs sont pourvus d'ouvertures, les éléments formant poteaux entre ouvertures doivent faire l'objet d'une vérification spécifique en tenant compte, si besoin, du risque de flambement dans les deux directions.

De la même façon, les éléments formant linteaux au-dessus des ouvertures doivent faire l'objet d'une vérification spécifique. La justification des linteaux intégrés dans un panneau CLT ou rapportés entre deux panneaux peut se faire de manière simplifiée en considérant le linteau comme une juxtaposition de poutres parallèles en ne tenant compte que des plis orientés horizontalement. Dans les deux cas, la poutre doit être modélisée sur appuis simples.

La portée de linteaux prise en compte dans les calculs est égale à la distance entre nus des appuis dans le cas d'une pièce intégrée. En cas de pièce complémentaire, la portée est égale à la longueur de la pièce rapportée. Cette longueur est au minimum la distance entre nus des appuis plus la largeur des appuis calculée selon les contraintes en compression.

4.4.3.3. • *Vérification en phase définitive des éléments porteurs verticaux soumis à des charges horizontales*

Lorsque des panneaux 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. Cela 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'un dispositif assurant le chaînage transmettant l'effort horizontal et de justifier la transmission de l'effort aux panneaux par cet élément 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, d'une part, la tenue des panneaux et celle de leurs ancrages, et, d'autre part, la transmission des efforts de glissement entre panneaux. Lorsque des panneaux 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 :

$$\tau_{1,d} = \frac{V_d}{b.t} \leq f_{v,1,d}$$

$$\tau_{2,d} = \frac{V_d}{b.t_{\min}} \leq f_{v,2,d}$$

$$\tau_{3,d} = \frac{V_d h}{\sum I_p} \cdot \frac{a}{2} \leq f_{v,3,d}$$

$$F_{v,i,d} = k_{\text{mod}} \frac{F_{v,i,k}}{\gamma_M}; \quad f_{v,1,k} = 3,5 \text{ N/mm}^2; \quad f_{v,2,k} = 8 \text{ N/mm}^2; \quad f_{v,3,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$$

où :

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.

4.4.3.4. • Conception des ouvrages mixtes

On entend par « ouvrages mixtes » les ouvrages dont la structure est composée de plusieurs matériaux de nature différente. Les ouvrages mixtes visés dans ce guide sont uniquement composés de murs maçonnés et CLT dans le même ouvrage avec des planchers CLT ou traditionnels en bois. La mixité est donc limitée à des parois verticales.

Les points à étudier sont les suivants :

- le fluage différentiel des parois : le béton, que ce soit sous forme de maçonnerie ou de béton banché, a généralement un fluage inférieur à celui du bois. Il convient de veiller à ce que la répartition des efforts soit constante dans les éléments ou de

tenir compte d'une évolution de la répartition dans les calculs. Il est également nécessaire de vérifier l'apparition d'efforts supplémentaires en raison de la déformation de la structure ;

- le différentiel de rigidité entre les parois : le différentiel doit être considéré dans la répartition des efforts horizontaux sur chacun des types de mur. Dans certains cas, ce différentiel peut aboutir à une torsion du bâtiment qui doit être considérée dans la vérification de l'ouvrage.

4.5. • Vérification des assemblages

4.5.1. • Généralités

De manière générale, les organes de fixation ou d'assemblage doivent être justifiés au regard des prescriptions des sections 7.1 et 8 de la NF EN 1995-1-1 avec amendement A1 et son annexe nationale. Les exigences concernant les détails structuraux et le contrôle des assemblages sont données dans la section 10. Des dispositions complémentaires peuvent être apportées par les Avis Techniques ou les Documents Techniques d'Application.

De façon similaire avec la justification des éléments bois, il y a lieu de vérifier les assemblages aux ELU (états limites ultimes), c'est-à-dire en solidité et à l'ELS (état limite de service) pour déterminer les glissements et leurs impacts sur la déformation de l'ouvrage. Les procédures de calcul sont décrites dans les deux paragraphes suivants.

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

Les connecteurs mécaniques tridimensionnels doivent faire l'objet d'une Évaluation Technique Européenne. Les organes de fixation ou d'assemblage doivent être justifiés en regard des prescriptions des sections 7.1 et 8 de la norme NF EN 1995-1-1 et son amendement A1.

4.5.1.1. • Procédure globale de vérification aux ELU

Il s'agit ici de vérifier que la résistance de l'assemblage est supérieure à l'effort qu'il transmet. La procédure de vérification des assemblages aux ELU est la suivante :

▲ **Tableau 28** : Procédure de vérification des assemblages aux ELU

CONNAÎTRE LES DONNÉES D'ENTRÉE

Dimensions, orientation et matériaux des éléments assemblés
Nombre et orientations des tiges par rapport au fil du bois
Valeur de l'effort et orientation par rapport aux tiges
Type de sollicitation sur les tiges (simple cisaillement, double cisaillement, etc.)
Caractéristiques géométriques et mécaniques des tiges
Caractéristiques physiques des matériaux assemblés



⇩
DÉTERMINER LES PROPRIÉTÉS DE LA TIGE Vérifier les conditions de pénétration Calculer la portance locale Calculer le moment d'écoulement plastique Vérifier les espacements entre tiges parallèlement et perpendiculairement au fil du bois Vérifier les espacements aux bords et aux extrémités des éléments bois Déterminer le nombre efficace de tiges
⇩
CALCULER LA CAPACITÉ RÉSISTANTE Calculer la valeur caractéristique de la capacité résistante de chaque mode de rupture et identifier le plus faible (donnée par tige et par plan de cisaillement)
⇩
TAUX DE TRAVAIL DE L'ASSEMBLAGE Calculer la résistance globale de l'assemblage en fonction du nombre efficace de tiges et du nombre de plans de cisaillement Vérifier que la résistance est supérieure à l'effort dans l'assemblage

La compression transversale et le cisaillement sur appui doivent également faire l'objet d'une vérification. De même, la rupture de bloc et le fendage doivent être vérifiés conformément à l'annexe A et au paragraphe 8.1.4 de la NF EN 1995-1-1 avec A1 et son annexe nationale. Ces vérifications sont indépendantes du type de tige.

En ce qui concerne les assemblages bois-métal, seuls les assembleurs dans les plans de cisaillements aux interfaces bois-métal sont considérés ici. Il y aura lieu, par ailleurs, de justifier les éléments métalliques au regard des prescriptions de la NF EN 1993-1-1 et son annexe nationale, point qui n'est pas traité dans cet ouvrage.

4.5.1.2. • Procédure globale de calcul aux ELS

Le but de ce calcul est de déterminer le glissement des assemblages afin de s'assurer qu'il n'engendre pas de déformations à la structure qui l'amèneraient à ne plus respecter les exigences de la NF EN 1995-1-1 avec A1 et son annexe nationale. La procédure est celle-ci :

▲ Tableau 29 : Procédure de calcul aux ELS

CONNAÎTRE LES DONNÉES D'ENTRÉE Type de tige Diamètre Jeu Préperçage ou non Masse volumique moyenne des éléments assemblés
⇩
CALCULER LE GLISSEMENT DE L'ASSEMBLAGE Calculer le module de glissement (<i>donné par tige et par plan de cisaillement</i>) Prendre en compte les jeux d'assemblage Calculer le glissement d'assemblage

4.5.2. • Assemblages par pointes

4.5.2.1. • Pointes chargées latéralement

La conception et le calcul des assemblages par pointes chargées latéralement sont réalisés conformément au paragraphe 8.3.1 de la NF EN 1995-1-1 avec A1 et son annexe nationale. Les éléments sont donnés dans ce paragraphe pour déterminer pour les pointes :

- le moment d'écoulement plastique ;
- la portance locale avec ou sans préperçage pour le bois ou les panneaux à base de bois ;
- les longueurs de pénétration ;
- le nombre efficace ;
- les espacements.

Pour les pointes lisses, la longueur de pénétration côté pointe doit être au moins égale à $8d$.

Pour les pointes annelées et torsadées, la longueur de pénétration côté pointe doit être au moins égale à $6d$.

Pour un clouage en bout de fil, les pointes non lisses peuvent être utilisées dans les structures autres que secondaires. Il convient de prendre la valeur de calcul de la capacité résistante comme $1/3$ de la valeur d'une pointe de diamètre équivalent clouée perpendiculairement au fil à condition que :

- les pointes soient seulement chargées latéralement ;
- il y ait au moins trois pointes par assemblage ;
- la pénétration du côté de la pointe soit au moins égale à $10d$;
- l'assemblage ne soit pas en classe de service 3 ;
- les valeurs d'espacement et de distances minimum soient satisfaites.

À noter, notamment, qu'il convient de prépercer le bois lorsque :

- la masse volumique caractéristique du bois est supérieure ou égale à 500 kg/m^3 ;
- le diamètre d de la pointe est supérieur à 6 mm.

Il convient que le diamètre de l'avant-trou n'excède pas $0,8d$.

À noter également que les valeurs caractéristiques de la portance locale données pour les boulons conformément à 8.5.1 de la NF EN 1995-1-1 avec A1 et son annexe nationale s'appliquent pour les pointes dont le diamètre est supérieur à 8 mm.

4.5.2.2. • Pointes chargées axialement

La conception et le calcul des assemblages par pointes chargées axialement sont réalisés conformément au paragraphe 8.3.2 de la

NF EN 1995-1-1 avec A1 et son annexe nationale. Trois modes de rupture sont déterminés pour les pointes chargées axialement dans ce paragraphe :

- arrachement de l'organe ;
- rupture de l'acier de l'organe ;
- traversée de la tête de l'organe.

Remarque

Il convient de considérer que les clouages en bout ne sont pas capables de reprendre un effort axial.

4.5.2.3. • Pointes chargées à la fois latéralement et axialement

Le calcul des assemblages par pointes chargées à la fois latéralement et axialement est réalisé conformément au paragraphe 8.3.3 de la NF EN 1995-1-1 avec A1 et son annexe nationale.

4.5.3. • Assemblages par vis

Pour toutes les vis dans les bois feuillus et pour les vis de diamètre $d > 6$ mm dans les résineux, le préperçage est nécessaire ainsi que le respect des exigences suivantes :

- le trou de guidage pour la partie lisse doit avoir le même diamètre et la même longueur que la partie lisse de la vis ;
- le trou de guidage pour la partie filetée doit avoir un diamètre approximativement égal à 70 % du diamètre de la partie lisse.

Pour du bois ayant une masse volumique supérieure à 500 kg/m^3 , le préperçage doit être déterminé par essais. Lorsque le préperçage est appliqué à des vis autoforeuses, le diamètre du trou de guidage ne doit pas dépasser le diamètre intérieur du filet d_1 .

4.5.3.1. • Vis de diamètre $d \leq 6$ mm chargées latéralement

L'effet de la partie filetée de la vis doit être considéré dans la détermination de la capacité résistante en utilisant un diamètre efficace d_{ef} . Pour les tire-fonds avec partie lisse, lorsque le diamètre de la partie filetée est égal à celui de la partie lisse, les règles données pour les modes de rupture s'appliquent à condition que :

- le diamètre d_{ef} soit pris égal au diamètre de la partie lisse ;
- la partie lisse pénètre l'élément contenant la pointe au moins de $4d$.

Lorsque ces conditions ne sont pas satisfaites, il convient de calculer la capacité résistante de la vis en utilisant un diamètre efficace égal à 1,1 fois le diamètre intérieur de la partie filetée.

En ce qui concerne les vis à partie lisse et dont le diamètre $d \leq 6$ mm, et conformément au paragraphe 8.7.1 de la NF EN 1995-1-1 avec A1 et son annexe nationale, les règles de 8.3.1 de la NF EN 1995-1-1 avec A1 s'appliquent pour les pointes chargées latéralement.

4.5.3.2. • *Vis de diamètre $d > 6$ mm chargées latéralement*

Les dispositions du paragraphe précédent s'appliquent, conformément au paragraphe 8.7.1 de la NF EN 1995-1-1 avec A1 et son annexe nationale. Pour les vis à partie lisse et dont le diamètre $d > 6$ mm, les règles de 8.5.1 de la NF EN 1995-1-1 avec A1 pour les boulons s'appliquent.

Ce paragraphe 8.5.1 donnent les éléments qui permettent de déterminer :

- le moment d'écoulement plastique ;
- la portance locale en fonction de l'angle par rapport au fil pour le bois ;
- les espacements minimaux ;
- le nombre efficace de tiges.

4.5.3.3. • *Vis chargées axialement*

La conception et le calcul des assemblages par pointes sont réalisés conformément au paragraphe 8.7.2 de la NF EN 1995-1-1 avec A1 et son annexe nationale.

Il est notamment précisé que pour vérifier la résistance des vis chargées axialement, les modes de rupture suivants doivent être pris en compte :

- la rupture à l'arrachement de la partie filetée de la vis ;
- la rupture à l'arrachement de la tête des vis associées à des plaques métalliques, il convient que la résistance à l'arrachement de la tête de la vis soit supérieure à la résistance en traction de celle-ci ;
- la rupture à la traversée de tête de la vis ;
- la rupture en traction de la vis ;
- la rupture au flambement de la vis lorsque celle-ci est chargée en compression ;
- la rupture sur le périmètre d'un groupe de vis associées à des plaques métalliques (rupture de bloc).

Sont donnés dans ce paragraphe les éléments pour déterminer :

- les espacements minimaux ;
- les conditions de pénétration ;
- la valeur caractéristique de la capacité à l'arrachement ;

- la valeur caractéristique de la résistance à la traversée ;
- la valeur caractéristique de la résistance en traction ;
- le nombre efficace de vis.

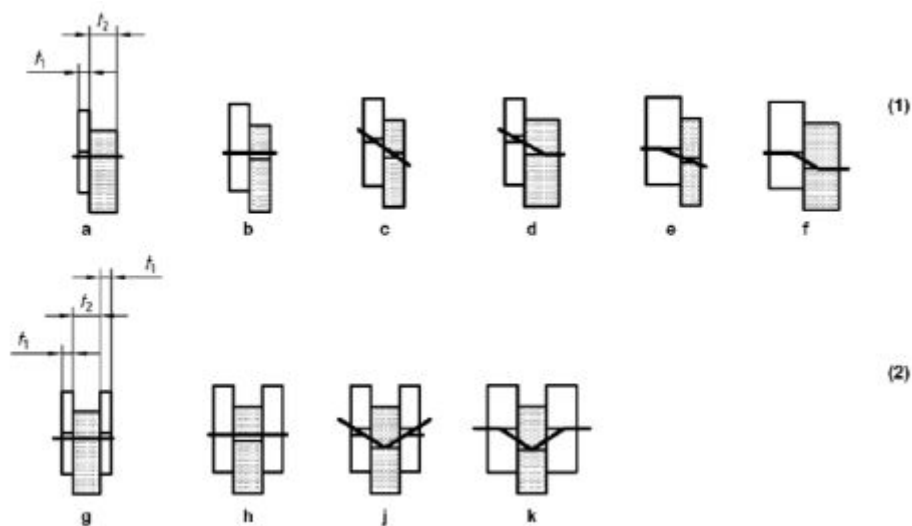
4.5.3.4. • Vis chargées à la fois latéralement et axialement

Le calcul des assemblages par vis chargées à la fois latéralement et axialement est réalisé conformément au paragraphe 8.7.3 de la NF EN 1995-1-1 avec A1 et son annexe nationale.

4.5.4. • Modes de rupture pour les assemblages bois-bois et bois-panneaux

Pour les assemblages bois-bois et bois-panneaux, la valeur caractéristique de la capacité résistante des organes de type tiges, donnée par organe et par plan de cisaillement, est déterminé d'après les équations données au 8.2.2 de la NF EN 1995-1-1 avec A1. La capacité résistante de chaque mode de rupture est calculée en simple cisaillement (1) ou double cisaillement (2), puis la valeur minimale est retenue.

Les différents modes de rupture sont illustrés par la (Figure 39) :



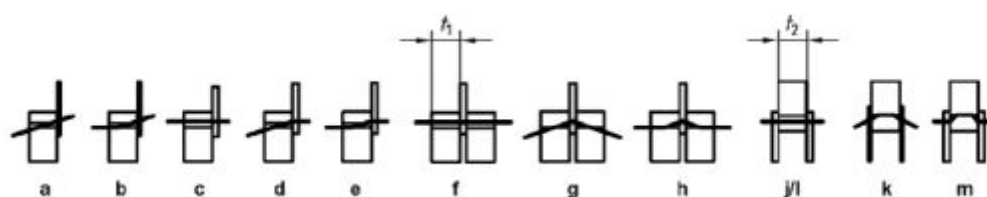
▲ Figure 39 : Mode de rupture des assemblages bois-bois

4.5.5. • Modes de rupture pour les assemblages bois-métal

Pour les assemblages bois-métal, la valeur caractéristique de la capacité résistante des organes de type tiges, donnée par organe et par plan de cisaillement, est déterminée d'après les équations données au 8.2.3 de la NF EN 1995-1-1 avec A1. En fonction de la catégorie d'épaisseur de la plaque métallique (épaisse ou mince), la capacité résistante de chaque mode de rupture est calculée en simple

cisaillement en âme, ou en double cisaillement, puis la valeur minimale est retenue.

Les différents modes de rupture sont illustrés par la (Figure 40) :



▲ Figure 40 : Mode de rupture des assemblages bois-métal

a et b : modes de rupture pour une plaque métallique en simple cisaillement

c, d et e : modes de rupture pour une plaque métallique épaisse en simple cisaillement

f, g et h : pour une plaque métallique d'épaisseur quelconque en âme

j, k : pour les plaques minces en double cisaillement

l et m : pour les plaques métalliques épaisses en double cisaillement

Remarque

L'ancrage dans les fondations au moyen de chevilles de fixations, par exemple, doit faire l'objet d'une vérification également. Ce point n'est pas traité dans cet ouvrage. Les chevilles de fixation doivent bénéficier d'une Évaluation Technique Européenne précisant leurs capacités résistantes.

4.5.6. • Spécificités pour mise en œuvre en zone sismique

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

Ces organes jouent alors le rôle de dissipateurs d'énergie de la structure. De plus, lors de la conception des assemblages suivant les prescriptions de la NF EN 1995-1-1 avec A1, il convient de s'assurer que le mode de rupture obtenu est celui de la plastification de l'organe d'assemblage.

Le dimensionnement des ancrages de panneaux sera réalisé conformément aux principes du dimensionnement en capacité de la NF EN 1998-1. En outre, la résistance et la raideur des ancrages doivent être supérieures à celles des autres assemblages pour garantir un bon comportement dissipatif de la structure.

4.6. • Justification sismique

Les justifications sismiques doivent être réalisées selon la réglementation en vigueur. Au moment de la rédaction de cet ouvrage, la réglementation pour les bâtiments repose sur l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié 2012 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal ». L'arrêté définit dans son article 4 les référentiels de dimensionnement autorisés. Pour les panneaux CLT, ce sont les suivants :

- NF EN 1998-1 et son annexe nationale (Eurocode 8) ;
- les Avis Techniques et les Évaluations Techniques Européennes.

Ce guide reste donc informatif et ne prévaut pas sur les documents précités.

4.6.1. • Mode de calcul

La justification en zone sismique des structures assemblées par panneaux CLT peut être menée en suivant le principe de comportement de structure dissipatif (classe de ductilité M) conformément à la norme NF EN 1998-1-1 (cf. § 8.1.3 et § 8.6 [2]P). Les effets des actions sont calculés sur la base de la méthode des forces latérales équivalentes donnée au § 4.3.3.2 de la norme NF EN 1998-1-1. Le spectre de calcul est déterminé à partir du spectre de réponse élastique en accélération en appliquant dans ce cas un coefficient de comportement $q = 2$.

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

La conception de l'ouvrage suivant le principe de comportement de structure dissipatif impose de porter la plus grande attention à la conception des assemblages entre panneaux (vis de liaison, équerres, etc.) au regard des efforts de cisaillement engendrés par l'action sismique. À ce titre, il convient :

- de hiérarchiser les zones de rupture dans les organes d'assemblage des panneaux en vérifiant la résistance suffisante des panneaux dont la rupture en cisaillement est considérée comme étant fragile ;
- d'exploiter la source de ductilité des organes d'assemblage des ancrages et des équerres, la justification de la capacité résistante étant menée suivant les principes la norme NF EN 1995-1-1, paragraphe 8.2, en s'assurant que le mode de rupture obtenu est celui de la plastification de l'organe d'assemblage ; les

organes de fixation de type broches, boulons et pointes lisses ne sont pas admis ;

- de s'assurer que les connecteurs tridimensionnels mis en œuvre bénéficient d'une Évaluation Technique Européenne et fassent l'objet d'un rapport d'essai de laboratoire (accrédité ISO 17025) réalisé selon la norme NF EN 12512 et démontrant d'un comportement cyclique qui satisfasse les critères fixés de la classe de ductilité M au § 8.3 (3)P de la norme NF EN 1998-1-1 ;
- de s'assurer que le dimensionnement des ancrages de panneaux sera réalisé en appliquant les principes du dimensionnement en capacité de la norme NF EN 1998-1 en considérant un coefficient de surrésistance pour l'ancrage tel que défini au paragraphe 4.4.2.6 de cette norme.

Lorsqu'ils sont prévus en zone sismique, les panneaux 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 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 dans la partie « structure » de ce guide ;
- en réalisant la fixation au support béton des panneaux au sous-bassement béton par des chevilles bénéficiant d'une Évaluation Technique Européenne pour une utilisation en béton fissuré ; en limitant la capacité résistante en cisaillement de ces chevilles à la moitié de celles indiquée dans l'ATE sous sollicitation statique ; en considérant un diagramme d'interaction linéaire pour justifier les chevilles sous charges combinées de traction et de cisaillement.

4.6.2. • Dispositions constructives spécifiques

Les dispositions constructives proposées ci-après visent à assurer le transfert des efforts du niveau supérieur au niveau inférieur en prenant pour hypothèse une séparation des rôles entre :

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

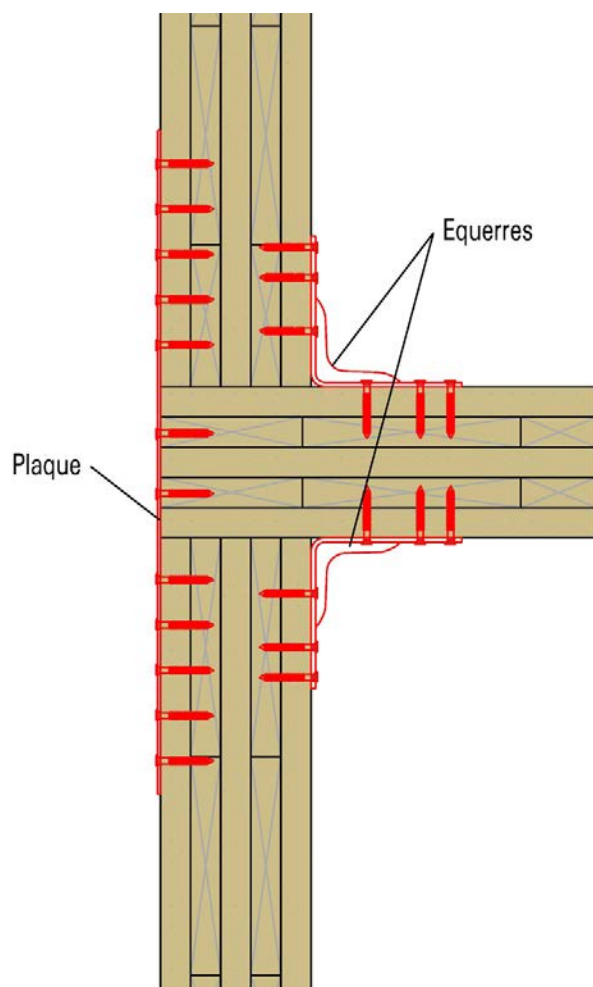
Les essais réalisés au moment de la rédaction du présent document montrent clairement que le soulèvement est le point critique amenant la ruine. Les meilleures performances (résistance et ductilité) sont obtenues en assurant un transfert vertical très performant et en dimensionnant les équerres de manière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

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

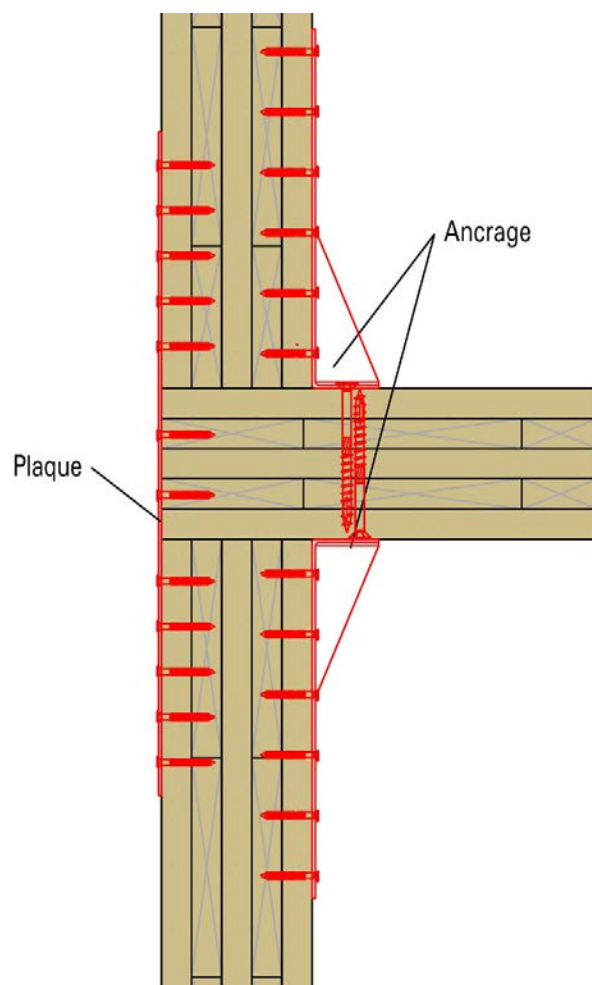
- une plaque continue est utilisée en façade ;
- la plaque en façade peut être complétée par des ancrages côté intérieur ;
- des ancrages seuls peuvent être utilisés lorsqu'ils sont reliés verticalement.

Les équerres doivent être suffisamment nombreuses pour reprendre la totalité des efforts de cisaillement en pied de paroi verticale ainsi que les efforts provenant du diaphragme s'il y a lieu. Il est nécessaire d'utiliser un minimum de deux équerres avec six vis chacune pour chaque panneau quelle que soit sa longueur afin d'assurer la ductilité d'ensemble.

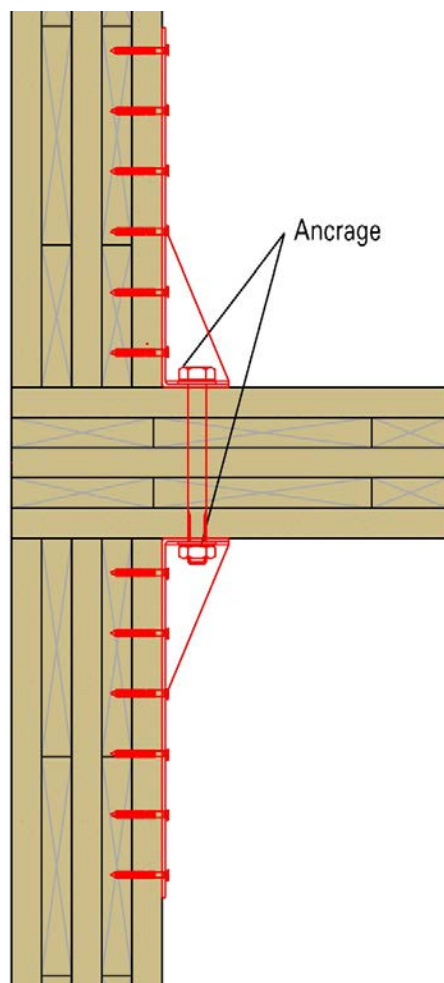
Les équerres et les ancrages doivent être dimensionnés de manière à ce que la rupture se produise en premier lieu dans les organes d'assemblage des parties verticales des connecteurs. Le mode de rupture des organes d'assemblage doit également être ductile.



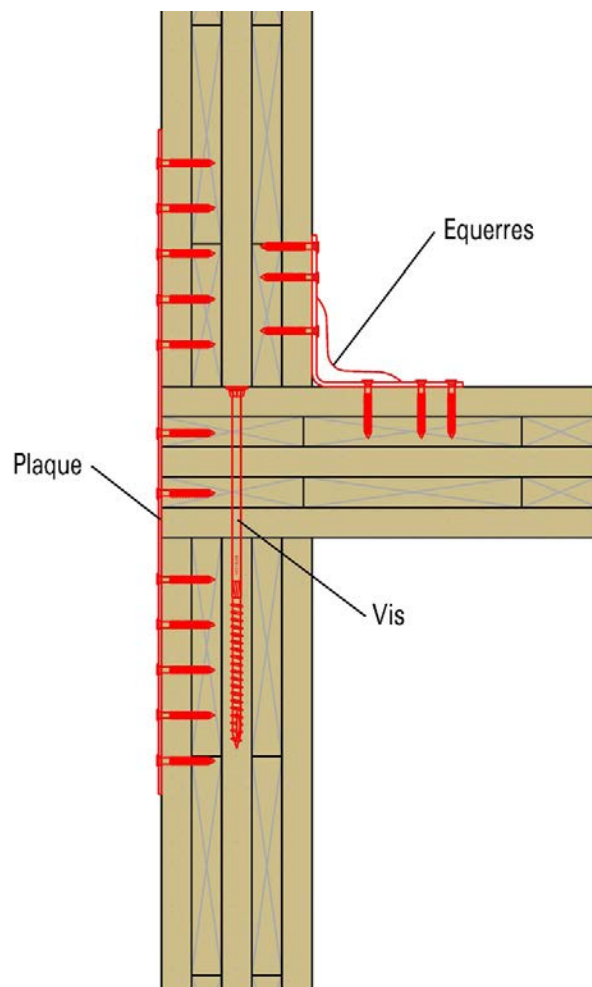
▲ Figure 41 : Plaque + équerres



▲ Figure 42 : Plaque + ancrages + équerres



▲ Figure 43 : Ancrages + équerres



▲ Figure 44 : Exemple de configuration d'un pied de panneau vertical

4.7. • Aspect incendie

4.7.1. • Contexte général

En France, la résistance au feu des produits de construction doit être justifiée selon l'arrêté du 22 mars 2004 relatif à la résistance au feu des produits, des éléments de construction et d'ouvrages. L'arrêté indique que les performances de résistance au feu des produits, des éléments de construction et d'ouvrages peuvent être déterminées par une ou plusieurs des approches suivantes :

- un essai conventionnel donnant lieu à un domaine d'application directe, conformément à l'annexe 1 (de l'arrêté) ;
- une méthode de calcul et une règle de dimensionnement, selon l'annexe 2 (notamment la norme NF EN 1995-1-2 et son annexe nationale) ;
- la référence à un procédé de fabrication ou de construction approuvé, dont la liste figure en annexe 3 de l'arrêté (ne vise pas les panneaux CLT) ;

- l'appréciation de laboratoire agréé, établie selon l'annexe 4 (de l'arrêté).



Ce guide ne faisant pas partie de cette liste, il n'exonère en rien le passage par une des approches pertinentes précitées. Il peut être une base de travail pour les fabricants souhaitant présenter une demande d'appréciation de laboratoire agréé.

Le paragraphe est basé sur la norme NF EN 1995-1-2 et son annexe nationale ainsi que sur le guide issu du projet de recherche européen FireInTimber (*Fire Resistance of Innovative Timber structures*).

4.7.2. • Principe

La résistance au feu requise en fonction de l'emplacement et du rôle à jouer par les panneaux CLT dans la construction (et du type de construction) peut être assurée soit par le panneau seul, soit par le panneau complété par un écran de protection, soit par un écran de protection assurant à lui seul la totalité de la résistance au feu requise.

Le principe général de justification d'une structure en situation d'incendie est, pour la durée d'exposition au feu exigée t , de vérifier :

$$E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi}$$

où :

$E_{d,fi}$ est la valeur de calcul de l'effet des actions en situation de feu déterminée conformément à l'EN 1991-1-2 (2002), incluant les effets des dilatations et des déformations thermiques ;

$R_{d,t,fi}$ est la valeur de calcul de la résistance correspondante en situation de feu.

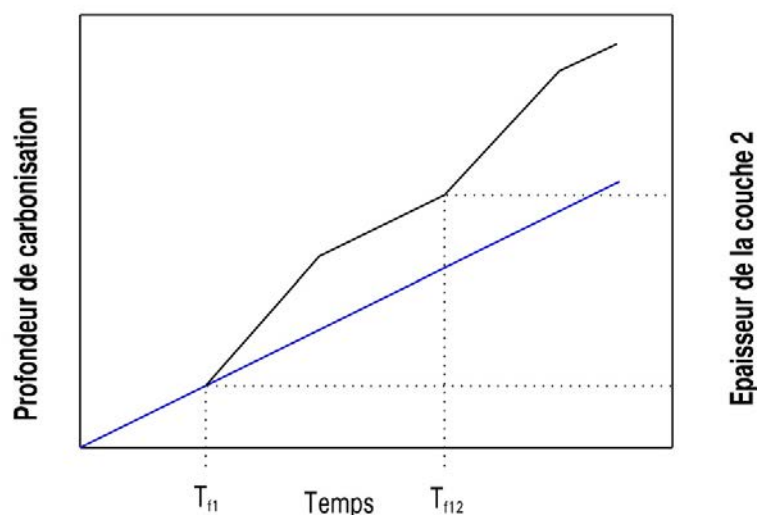
4.7.2.1. • Prise en compte des plis

Une des particularités des panneaux CLT est de devoir considérer plusieurs vitesses de carbonisation en fonction de la prise en considération ou non de la protection apportée par le pli exposé au feu. Plusieurs phases sont à considérer :

- au début de l'exposition de la couche positionnée du côté du feu, la vitesse de carbonisation est équivalente à celle d'un élément massif composé du même bois ;
- lorsque la profondeur de carbonisation atteint la colle située entre la première et la deuxième couche, la tenue de la première couche n'est plus assurée. La protection apportée par celle-ci disparaît donc instantanément ;
- suite à la chute de la première couche qui jouait le rôle d'un écran, la deuxième couche se trouvera brutalement sous un

flux thermique très élevé. La vitesse de carbonisation est alors plus élevée jusqu'à ce que la profondeur de carbonisation atteigne 25 mm dans cette seconde couche ;

- la vitesse de carbonisation revient à sa valeur initiale jusqu'à ce que la profondeur de carbonisation atteigne la colle située entre la deuxième et la troisième couche ;
- les phases 3 et 4 se répètent au niveau de chaque couche.



t_n : temps au bout duquel la première couche chute

t_{f2} : temps au bout duquel la seconde couche chute

Courbe bleue : bois massif

Courbe noire : CLT

▲ Figure 45 : Les différentes phases de carbonisation des panneaux CLT

4.7.2.2. • Colle

Le paragraphe 3.5 de la norme NF EN 1995-1-2 prescrit que « les colles à usage structural doivent produire des assemblages d'une résistance et durabilité telles que l'intégrité du collage soit maintenue au cours de la période de résistance au feu considérée ». Il indique également que « pour du collage bois-bois, bois-panneaux et panneaux-panneaux, des colles de types phénol-formaldéhyde et aminoplastique de type 1 selon l'EN 301 peuvent être utilisées »

Depuis la publication de la norme NF EN 14425, la dernière phrase s'applique également aux colles de type polyuréthane monocomposant. À noter, cependant, qu'il n'existe pas de méthode d'essai spécifique pour qualifier une colle soumise à un incendie. Les essais actuels se limitent à une température de 70 °C pendant deux semaines.



4.7.3. • Méthode de calcul

4.7.3.1. • *Panneau CLT exposé directement au feu*

Le degré de résistance au feu requis est obtenu par la résistance du panneau seul. Lorsque le panneau est directement exposé au feu, sa résistance sera calculée en appliquant la méthode de la section réduite de l'EN 1995-1-2, et en tenant compte des asymétries générées par la combustion du panneau. Une vitesse de combustion unidimensionnelle β_0 est prise définie quelle que soit l'orientation du panneau. Cette vitesse dépend de :

- de la nature du bois utilisé ;
- du nombre de plis ;
- de l'épaisseur des plis ;
- de l'épaisseur des panneaux.

Après la combustion complète de la première couche, il faut considérer que la partie carbonisée chute car la colle qui lie cette première couche à la deuxième sera consommée et, par conséquent, ne peut plus assurer la tenue de la partie carbonisée de cette première couche. Dans cette situation, la deuxième couche se trouvera brutalement sous un flux thermique très élevé du fait qu'elle a perdu la première couche qui jouait le rôle d'un écran. La vitesse de combustion de cette deuxième couche, jusqu'à ce que l'épaisseur de la partie carbonisée atteigne l'épaisseur de 25 mm, sera $\beta_0 = 1,5$ mm/minute. Au-delà de cette épaisseur de 25 mm, la vitesse de combustion de cette deuxième couche sera $\beta_0 = 0,75$ mm/minute.

Pour toutes les autres couches, les vitesses de combustion prises en compte pour le dimensionnement au feu des panneaux CLT seront identiques à celles de la deuxième couche. Pour que les vitesses données ci-dessus soient valables pour les couches transversales, il faut que les joints entre les planches de ces couches soient inférieurs à 2 mm. Si ces joints sont entre 2 et 6 mm, les vitesses données ci-dessus doivent être multipliées par un coefficient $k_n = 1,2$ définissant alors une vitesse de combustion fictive β_n égale à $k_n * \beta_0$.

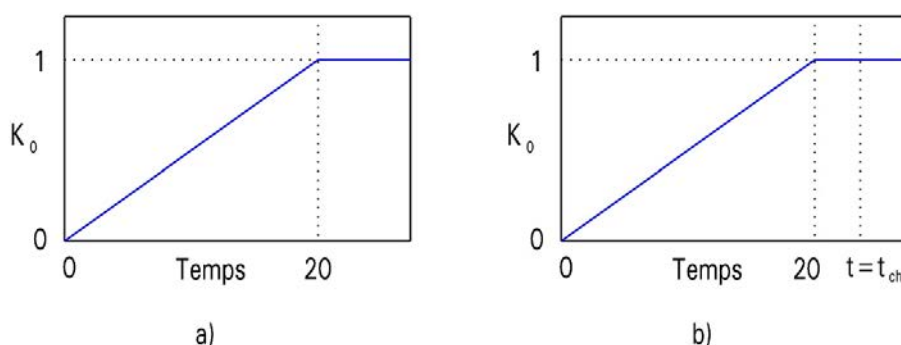
On tient compte des plis perpendiculaires aux sollicitations vis-à-vis de leur rôle de protection. En revanche, de même que pour le calcul à froid, on ne tient pas compte de ces plis pour la justification de la résistance à chaud.

Il convient de calculer la section efficace en diminuant la section initiale de la profondeur de carbonisation efficace d_{ef} selon $d_{ef} = \beta_n * t + k_0 * d_0$ avec :

t : le temps approprié d'exposition au feu ;

k_0 : coefficient donné sur les figures ci-après. Pour des surfaces protégées avec $t_{ch} > 20$ min, il convient de supposer que k_0 varie linéairement entre 0 et 1 au cours de l'intervalle de temps compris entre $t = 0$ et $t = t_{ch}$. Pour les surfaces non protégées ou protégées avec

$t_{ch} \leq 20$ min k_0 varie linéairement entre 0 et 1 au cours de l'intervalle de temps compris entre $t = 0$ et $t = 20$;



▲ Figure 46 : Variation de k_0 : a) pour des éléments non protégés ou protégés avec $t_{ch} \leq 20$ min ; b) pour des éléments protégés avec $t_{ch} > 20$ min

t_{ch} : temps du début de carbonisation d'éléments protégés (retard de démarrage de la carbonisation lié à la protection) ;

d_0 : épaisseur en mm de résistance nulle.

Pour les panneaux CLT, en général d_0 dépend :

- du nombre de plis ;
- de l'épaisseur du panneau ;
- de l'état de contrainte (traction ou compression) ;
- du gradient de température en dessous de la couche carbonisée que le panneau soit protégé ou non.

Pour les panneaux exposés sur un côté, l'épaisseur de la couche non résistante d_0 doit être prise conformément aux tableaux ci-après. Pour les murs en compression, les valeurs d'épaisseur de la couche non résistante d_0 sont données uniquement dans le cas d'une face exposée en compression, car le côté en traction est normalement non exposé (il apparaît lorsque le mur exposé au feu fléchi dans le sens opposé au feu). Pour les murs exposés sur deux côtés, la conception doit être réalisée sur la base de résultats d'essais de résistance au feu.

▲ Tableau 30 : d_0 en mm pour les panneaux de 3 couches d'épaisseur h en mm

Exposition	Plancher		Murs	
	Sans protection	Avec protection ^(a)	Sans protection	Avec protection ^(a)
Face tendue		10	(b)	(b)
Face comprimée				

a : valeurs à considérer aussi lorsque $t > t_f$
 b : non pertinent

▲ Tableau 31 : d_0 en mm pour les panneaux de 5 couches d'épaisseur h en mm

Exposition	Plancher		Murs	
	Sans protection	Avec protection ^(a)	Sans protection	Avec protection ^(a)
Face tendue		Pour $75 \leq h \leq 100$: Pour $h > 100$ mm :	(b)	(b)
Face comprimée		18		20
a : valeurs à considérer aussi lorsque $t > t_f$ b : non pertinent				

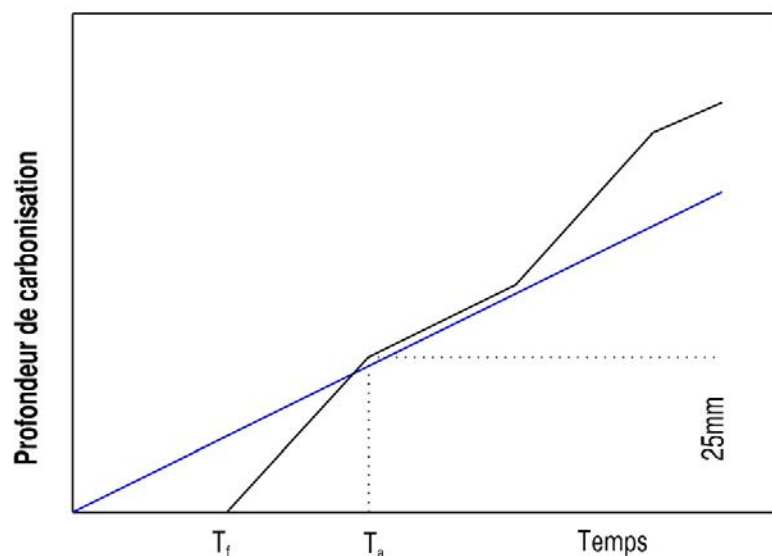
▲ Tableau 32 : d_0 en mm pour les panneaux de sept couches d'épaisseur h en mm

Exposition	Plancher		Murs	
	Sans protection	Avec protection ^(a)	Sans protection	Avec protection ^(a)
Face tendue	Pour $105 \leq h \leq 175$: Pour $h > 175$ mm : 10	Pour $105 \leq h \leq 175$: Pour $h > 175$ mm : 10	(b)	(b)
Face comprimée	Pour $105 \leq h \leq 175$: Pour $h > 175$ mm : 13	Pour $105 \leq h \leq 175$: Pour $h > 175$ mm : 13	Pour $105 \leq h \leq 175$: Pour $h > 175$ mm : 16	Pour $105 \leq h \leq 175$: Pour $h > 175$ mm : 16
a : valeurs à considérer aussi lorsque $t > t_f$ b : non pertinent				

En outre, si à l'issue du temps de résistance au feu, l'épaisseur efficace résiduelle du pli travaillant à une épaisseur calculée inférieure à 3 mm, ce pli ne doit pas être pris en considération pour la justification de la résistance à chaud. En revanche, la nature de « panneau » impose l'existence d'au moins un pli travaillant. Les sollicitations considérées pour la justification de la résistance à chaud découlent de l'application des combinaisons d'action précisées par les Eurocodes.

4.7.3.2. • Panneau CLT protégé partiellement par un écran

Le degré de résistance au feu requis est obtenu conjointement par la résistance du panneau et par l'écran de protection. Les dispositions constructives concernant ces écrans sont précisées à la partie « Mise en œuvre ». La participation du panneau CLT au degré de résistance au feu est calculée comme dit pour le panneau CLT seul, mais en considérant, pour l'étape se situant après la rupture de la protection, un coefficient d'influence $k_3 = 2$, c'est-à-dire une vitesse de combustion fictive β_n égale à 1,5 mm/min. L'épaisseur carbonisée $d_{char,n}$ est alors calculée par les formules de la norme EN 1995-1-2 en fonction du temps t_a (en minute) à partir duquel la vitesse de carbonisation passe de $k_3 \cdot \beta_n$ à β_n et de la durée de résistance au feu recherchée t_c (en minute).



t_f : temps auquel la protection chute

t_a : temps nécessaire pour une carbonisation de 25 mm

Courbe bleue : bois massif non protégé

Courbe noire : panneau CLT protégé jusqu'à t_f

▲ Figure 47 : Temps de résistance au feu du panneau CLT

4.7.3.3. • *Panneau CLT protégé totalement par un écran*

Le degré de résistance au feu requis est obtenu uniquement par l'écran de protection. Aucune vérification n'est à effectuer, le panneau CLT n'intervenant pas dans l'obtention du degré de résistance au feu.

4.7.4. • Propagation du feu aux façades

Dans les bâtiments pour lesquels il existe une exigence C+D, le calfeutrement en nez de plancher et les dispositifs constructifs doivent être réalisés selon l'IT 249 qui propose dans sa version révisée 2010 des principes constructifs et de calfeutrement pour les panneaux CLT.

Conditions de fabrication

5

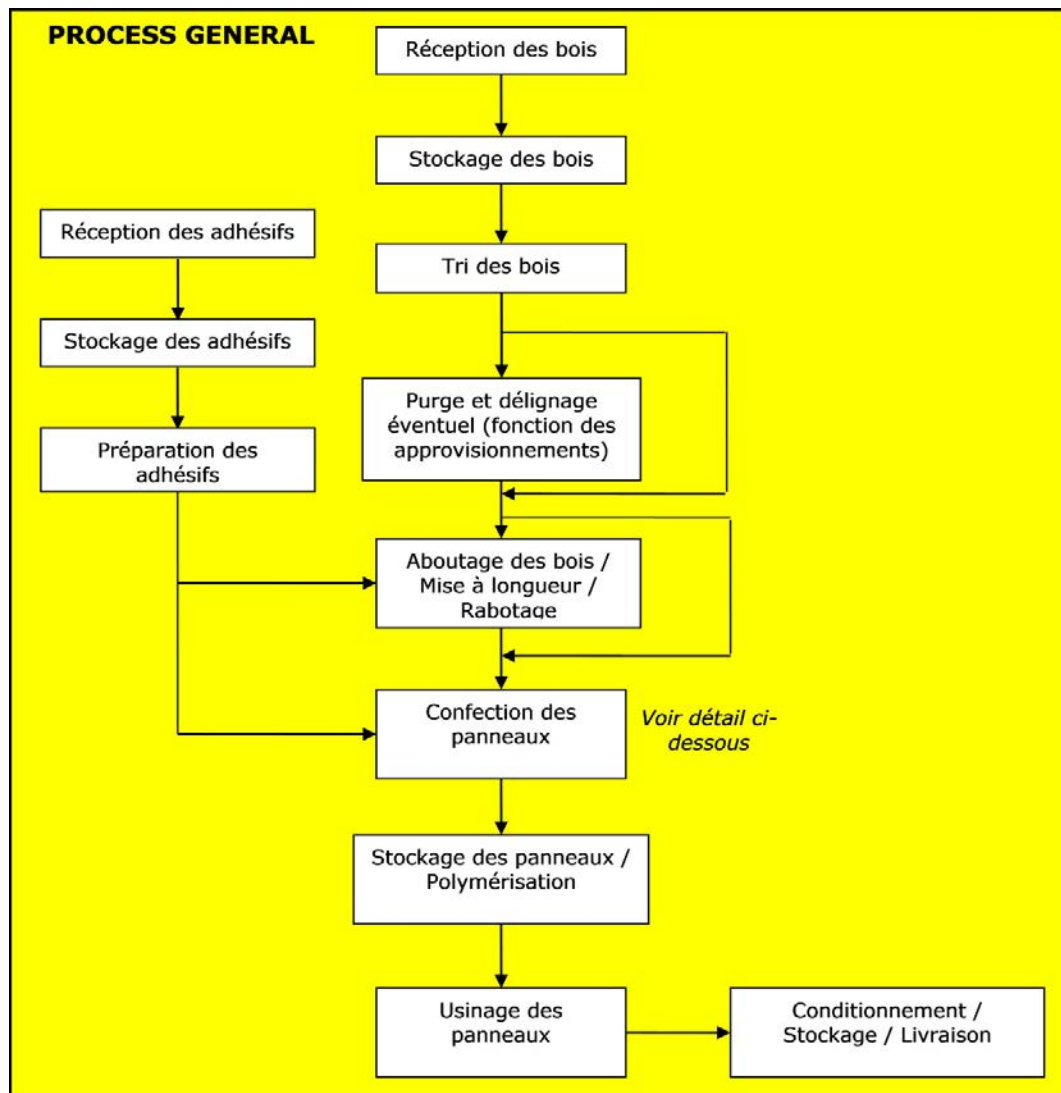


5.1. • *Fabrication des panneaux*

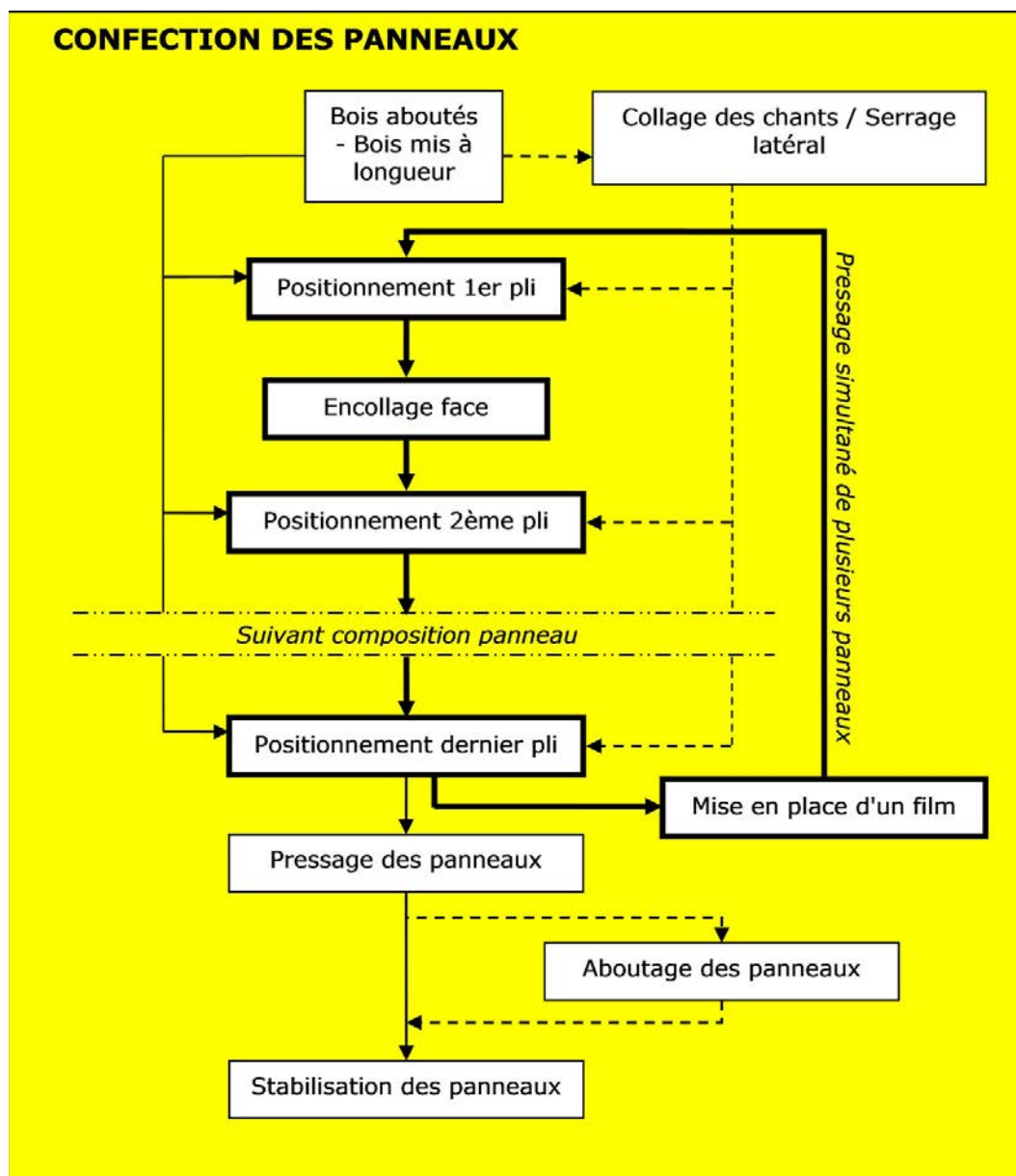
Les panneaux CLT sont des panneaux de grandes dimensions composés de planches en bois massif, empilées en couches croisées à 90°, et constitués d'au moins trois couches. Les couches sont collées entre elles sur toute leur surface. De plus, les planches constituant une couche peuvent être collées à chant et rainurées sur une face.

Leur fabrication requiert une maîtrise des conditions de fabrication lors des différentes étapes de celle-ci : le personnel doit être formé et compétent afin de garantir une qualité et une traçabilité optimale tout au long du process de fabrication.

5.1.1. • Process



▲ Figure 48 : Process de fabrication de panneaux CLT



▲ Figure 49 : Confection de panneaux CLT

5.1.2. • Technologies

Les presses utilisées pour le pressage des panneaux sont des presses hydrauliques, des presses à haute fréquence, des presses à membranes. Ces presses peuvent être associées à des portiques de manutention automatique et semi-automatique et à des chariots mobiles sous portique de collage afin d'optimiser les étapes de positionnement lors de la fabrication.

L'encollage des plis peut être réalisé par des râteliers de buse d'encollage, des portiques roulants, par aspersion automatique, ou par tout moyen permettant de réaliser un encollage de surface conforme aux exigences du fabricant de l'adhésif utilisé.

Les divers usinages nécessaires à la fabrication des panneaux CLT sont effectués par des machines-outils de type :

- tronçonneuse ;



- déligneuse ;
- raboteuse ;
- rainureuse ;
- machine à enturer (abouts) ;
- machine de taille à commande numérique.

5.2. • *Précisions de fabrication*

5.2.1. • Planches

La tolérance nécessaire sur l'épaisseur des planches est généralement de $\pm 0,15$ mm pour une planche et entre planches contiguës. Cette tolérance est à adapter en fonction de l'essence, du mode de pressage et de l'adhésif utilisés (épaisseur du joint de collage, notamment). Les niveaux de précision nécessaires peuvent être obtenus par un rabotage effectué sur les deux ou quatre faces des planches. Les deux faces collées doivent présenter des surfaces parallèles dans la plage de tolérance définie.

Dans le cas où des rainurages sont effectués sur une des faces des planches, leurs dimensions respectent les exigences données dans le paragraphe 3.1 « Bois ».

5.2.2. • Joints

Les jeux latéraux entre planches d'un même pli sont inférieurs à 6 mm.

Dans le cas où les planches sont collées sur chant, aucun jeu latéral n'est toléré entre les planches.

L'épaisseur maximale des joints de collage respecte les exigences du paragraphe 5.4.4. « Collage des panneaux ».

5.3. • *Tolérances dimensionnelles standard*

5.3.1. • Équerrage des panneaux

Les panneaux CLT devront respecter les tolérances de fabrication suivantes :

- hauteur : ± 3 mm sur la cote nominale ;
- largeur : ± 3 mm sur la cote nominale ;
- épaisseur : ± 2 mm sur la cote nominale ;

- différence de longueur entre les deux diagonales ≤ 5 mm si la diagonale est inférieure ou égale à 6 m et ≤ 7 mm si la diagonale est supérieure à 6 m ;
- faux équerrage : ≤ 1 mm/m.
- Pour les autres utilisations, les tolérances sur l'équerrage des panneaux doivent permettre une mise en œuvre conforme à la NF DTU 51.3.

5.3.2. • Épaisseur des panneaux et des plis

Rappel

L'humidité de référence pour le calcul des dimensions est 12 %. Si les conditions d'humidité diffèrent à la fabrication, les dimensions des panneaux et des plis devront être corrigés en fonction de la teneur réelle en humidité.

L'épaisseur finale corrigée du panneau ne doit pas s'écarter de l'épaisseur cible de ± 2 mm ou 2 % de la profondeur nominale, la valeur la plus grande étant retenue. L'épaisseur maximale du panneau est inférieure à 500 mm.

L'épaisseur corrigée des plis ne doit pas s'écarter de l'épaisseur cible de ± 1 mm.

5.3.3. • Dimensions en plan

Les dimensions finales des panneaux ne dépassent pas 4,80 m en largeur et vont de 5 à 30 m en longueur.

5.3.4. • Positions et dimensions des usinages

Les panneaux CLT peuvent être usinés afin d'intégrer les ouvertures et les percements nécessaires au projet. Ces usinages sont faits à façon, selon les plans de fabrication et conformément à l'étude.

Les tolérances sur ces usinages doivent respecter les exigences suivantes de la NF DTU 31.2 P1-1 :

- hauteur : ± 3 mm sur la cote nominale ;
- largeur : ± 3 mm sur la cote nominale ;
- différence de longueur entre les deux diagonales ≤ 5 mm si la diagonale est inférieure ou égale à 6 m et ≤ 7 mm si la diagonale est supérieure à 6 m ;
- faux équerrage : ≤ 1 mm/m.



5.4. • *Contrôle de la fabrication*

5.4.1. • Qualité des bois

Les bois utilisés doivent présenter avant toute étape de fabrication une humidité d'équilibre proche de l'humidité d'équilibre prescrite par le fabricant de l'adhésif utilisé. Une humidité des bois réceptionnés à 12 % (± 2 %) permettent généralement de respecter cette exigence.

L'humidité des bois doit être connue et enregistrée aux étapes clés du process de fabrication et notamment :

- l'aboutage ;
- le contrecollage.

Les bois devront présenter une résistance mécanique conformément aux exigences présentées au paragraphe 3.1. du chapitre « Matériaux ». Cette résistance est soit déterminée dans le cadre d'un marquage CE par le fournisseur de bois, soit déterminée par le fabricant du panneau CLT par tout moyen conforme aux prescriptions des normes NF EN 14081-1 à 4. Les différentes opérations d'usinage réalisées sur les planches au cours de leur préparation ne doivent pas conduire à la remise en cause à la baisse du classement mécanique établi. Les consignes d'usinage doivent indiquer les règles et la gestion de cette contrainte.

Différentes essences peuvent être utilisées au sein d'un même panneau à condition que leurs propriétés physiques soient similaires (en particulier leurs comportements en retrait et au gonflement) ou que des précautions particulières d'usinage soient prises.

5.4.2. • Qualité des colles, des résines et des durcisseurs

Les spécifications techniques des adhésifs entrant dans la composition des panneaux CLT doivent être documentées afin de pouvoir évaluer leur conformité.

Les adhésifs doivent être vérifiés à chaque livraison ainsi qu'à chaque poste où sont fabriqués les produits. Le stockage doit être fait dans les conditions recommandées par le fabricant. La préparation doit s'effectuer dans un local séparé dans le cas d'un adhésif composé d'une résine et d'un durcisseur.

Les exigences de résistances mécaniques et de tenue dans le temps relatives aux adhésifs de type I, spécifiées dans l'EN 301, l'EN 302 et l'EN 15425, doivent être satisfaites.

5.4.3. • Aboutage des planches

Les aboutages doivent être réalisés en respectant les exigences et les contrôles définis dans la PR EN 16351.



En outre, les planches ne doivent pas présenter de flaches ou de dégâts affectant plus de deux arêtes dans la zone d'aboutage et jusqu'à 75 mm depuis le fond des entures. L'aire d'un flache ne doit pas dépasser 1 % de l'aire de la section transversale. Aucun nœud ou aucune perturbation prononcée du fil ne doivent être présents à l'intérieur de l'aboutage, les nœuds d'un diamètre inférieur à 6 mm étant cependant autorisés. Aucun nœud n'est autorisé à proximité immédiate de l'assemblage, la distance minimale étant de trois fois le diamètre du nœud.

Les usinages des entures doivent conduire à des liaisons fiables et durables. L'opération d'aboutage doit, notamment, respecter les exigences suivantes :

- le collage est effectué au maximum six heures après l'usinage des entures ;
- les surfaces de collage sont propres et la géométrie des entures permet à l'assemblage d'être autobloquant après application de la pression ;
- l'adhésif est mis en œuvre selon les prescriptions du fabricant ;
- la température des éléments est supérieure à 18 °C afin de garantir la polymérisation ;
- l'encollage complet des faces des entures est garanti ;
- la pression appliquée assure un jeu minimal en fond d'enture.

Les planches aboutées peuvent être usinées s'il est garanti que la polymérisation et la solidité du collage ne sont pas affectées par les déformations et les vibrations.

La résistance des aboutages à entures multiples doit être vérifiée par essais conformément à l'annexe E du prEN 16351, avec une fréquence d'au moins deux échantillons par poste et par ligne de production pris au hasard pour chaque combinaison de classe de résistance mécanique ou classe de résistance spécifique au fabricant, essence et adhésif.

5.4.4. • Collage des panneaux

Les conditions climatiques lors des opérations de collage doivent être maîtrisées jusqu'à la polymérisation complète : la température minimale est de 15 °C (avec prise en compte des instructions du fabricant) et l'humidité relative de l'air est comprise entre 40 % et 70 %.

L'opération de collage doit, notamment, respecter les exigences suivantes :

- les surfaces de collage sont propres, la préparation du support (rabotage) est effectuée au maximum 24 heures avant le collage ou six heures dans le cas de lamelles traitées avec des produits de préservation ou difficiles à coller ;
- l'adhésif est mis en œuvre selon les prescriptions du fabricant ;

- l'humidité des lamelles est comprise entre 6 % et 15 %. La température des éléments est supérieure à 18 °C afin de garantir la polymérisation ;
- pour les adhésifs polyuréthanes monocomposants durcissant à l'humidité et les adhésifs à base d'isocyanate et de polymère en émulsion testés avec une épaisseur de joint de colle de 0,5 mm, l'épaisseur maximale du joint de colle doit être inférieure ou égale à 0,3 mm ;
- pour les adhésifs à base d'isocyanate et de polymère en émulsion testés avec une épaisseur de joint de colle de 0,3 mm, l'épaisseur maximale du joint de colle doit être inférieure ou égale à 0,2 mm ;
- pour les adhésifs phénoliques et aminoplastes, mélangés avant collage, l'épaisseur maximale du joint de colle ne doit pas dépasser les préconisations du fabricant de l'adhésif ou 0,6 mm, la valeur la plus faible étant retenue. Dans le cas d'une application séparée, l'épaisseur maximale du joint de colle ne doit pas dépasser 0,3 mm.

L'épaisseur du joint de collage est mesurée avec une précision de 10 %. La pression appliquée est adaptée à la composition du panneau et est conforme aux prescriptions du fabricant.

Les panneaux CLT peuvent être manipulés dès que la durée de maintien sous pression formulée par le fabricant est atteinte, s'il est garanti que la polymérisation et la solidité du collage ne sont pas affectées par les déformations et les vibrations liées à cette opération.

L'intégrité des joints de collage entre les couches doit être vérifiée par essais conformément à l'annexe C du prEN 16351 par le biais de deux éprouvettes de section transversale entière ou de barreaux d'essais provenant de deux éprouvettes de section transversale entière prélevée pour chaque poste au cours duquel le collage est réalisé. Un des deux échantillons, si le poste en produit doit comporter des couches adjacentes présentant la même orientation du fil. La résistance des joints de collage entre les planches d'une même couche doit être vérifiée par essais conformément à l'annexe D du prEN 16351 par le biais de deux éprouvettes prélevées pour chaque poste au cours duquel le collage est réalisé.

5.4.5. • Aboutage des panneaux

Les aboutages à entures multiples de grandes dimensions doivent être réalisés en respectant les exigences et contrôles définis dans la prEN 16351. En outre, seuls les panneaux présentant les mêmes combinaisons de section transversale peuvent être assemblés. Les aboutages sont exclusivement disposés dans le plan des composants, et sont fabriqués en usine uniquement.

L'opération d'aboutage des panneaux doit respecter les exigences suivantes :

- les surfaces de collage sont propres et la géométrie des entures permet à l'assemblage d'être autobloquant après application de la pression ;
- les entures sont usinées moins de 24 heures avant le collage, ou de six heures dans le cas de lamelles traitées avec des produits de préservation ou difficiles à coller et possèdent moins de 5 % de la surface d'enture endommagée ;
- les entures ont une longueur minimale de 45 mm ;
- l'adhésif est mis en œuvre selon les prescriptions du fabricant ;
- la teneur en humidité moyenne des panneaux est inférieure à 15 % avec un écart maximal de 2 % entre les différents panneaux ;
- l'épaisseur du joint de collage est donnée par le fabricant et doit être contrôlée.

Les limites des épaisseurs de joint données ci-dessous sont réputées satisfaire ces exigences, mais doivent être contrôlées :

- 0,3 mm pour les adhésifs polyuréthanes monocomposants et les adhésifs à base d'isocyanate et de polymère en émulsion ;
- 0,6 mm pour les adhésifs phénoliques et aminoplastes, en gardant la valeur la plus faible.

La valeur la plus faible est toujours à considérer.

L'épaisseur du joint de collage est mesurée avec une précision de 10 %.

La pression de serrage appliquée ne peut être inférieure à 0,3 N/mm² et doit garantir la non-fissuration des composants et un jeu minimal en fond d'enture.

Les panneaux CLT peuvent être manipulés dès que la durée de maintien sous pression formulée par le fabricant est atteinte, s'il est garanti que la polymérisation et la solidité de l'aboutage ne sont pas affectées par les déformations et les vibrations liées à cette opération.

La résistance des aboutages à entures multiples de grandes dimensions (entre panneaux) doit être vérifiée par essais conformément à l'annexe F de la prEN 16351, à raison d'un échantillon par poste, ou par mesurage de l'épaisseur du joint de collage et du jeu en fond d'enture, tous les 30 aboutages.

5.4.6. •Traçabilité

Les panneaux CLT doivent être identifiables et traçables. Les procédures de contrôles et de traçabilité doivent être contrôlées régulièrement afin de garantir l'origine et la méthode de production.

Les informations suivantes doivent être fournies avec les panneaux CLT :

- numéro de la norme de référence ;
- logo ou nom du fabricant ;
- référence du produit ;
- caractéristiques mécaniques et de calcul ;
- date de fabrication ou code de traçabilité ;
- type et famille d'adhésif ;
- « PT » si traitement contre les attaques biologiques.

5.5. • Conditions de stockage et de transport

5.5.1. • Usine

Les conditions de stockage doivent garantir que les panneaux CLT ne subissent pas de dommages ou de détériorations. Le stockage sera effectué sous abri ou protégé, de préférence verticalement avec une ventilation entre les panneaux.

Les panneaux sont stockés sur une zone dédiée garantissant une humidité relative moyenne des produits en sortie d'usine à 12 % (± 2 %).

5.5.2. • Transport

Les panneaux CLT ne doivent subir aucun dommage ou détérioration durant le transport. Des procédures devront être mises en place afin de faciliter les phases de chargement et de déchargement, afin de garantir la stabilité du chargement durant le transport et la sécurité des personnes prenant part à ces phases.

Des points d'attache sont usuellement prescrits par le fabricant et peuvent être posés, identifiés et repérés sur les panneaux afin de faciliter la manutention. Les points de levage peuvent être des sangles, des crochets, des plaques ou tout autre moyen d'attache permettant d'assurer la sécurité nécessaire lors de la manutention.

La masse de chaque panneau est indiquée de manière visible. Il convient de vérifier que les moyens de levage sont dimensionnés en conséquence, les éléments étant levés un par un.

Des précautions de manutention devront être indiquées pour les éléments de grandes dimensions.

5.5.3. • Chantier

Se référer au paragraphe (cf. 6.2.4). « Stockage et protection face aux intempéries », du chapitre « Mise en œuvre ».

6

Mise en œuvre



6.1. • *Spécificités du chantier*

Tout en étant proches de solutions couramment rencontrées dans le bâtiment, les solutions constructives avec panneaux CLT diffèrent dans leur mise en œuvre, à la fois des techniques d'ossature en bois traditionnelle, des techniques de types poteaux-poutres et des techniques de préfabrication lourde de type béton armé. La principale spécificité d'une opération utilisant la technique des panneaux CLT réside essentiellement dans la fusion partielle des pratiques propres à chacun de ces procédés constructifs.

Par exemple, les masses des éléments CLT à manutentionner sont souvent significativement plus importantes par rapport aux techniques de la filière ossature en bois traditionnelle. À l'inverse, les panneaux CLT ayant une masse surfacique d'environ cinq à six fois plus faible qu'une paroi en béton de même épaisseur, il est nécessaire de gérer la prise au vent potentielle d'éléments de grandes dimensions.

De même, par rapport aux techniques issues de la filière humide, qui sont souvent destinées à être intégralement habillées par le second œuvre, les panneaux CLT sont souvent destinés à être vus en phase usage. De ce fait, et bien que la structure soit en couches croisées (ce qui fait l'originalité du CLT par rapport aux autres techniques bois et ce qui diminue de beaucoup les phénomènes de retrait et de gonflement), des précautions particulières doivent être adoptées pour éviter toute reprise excessive en humidité qui serait préjudiciable au bon comportement, à la durabilité et à l'esthétique de cette solution constructive.

Par conséquent, il est impératif de protéger, de façon fiable, tous les ouvrages à la fois contre les intempéries et l'humidité dans l'air (cause exogène), mais aussi d'adopter, sur le chantier, des mesures efficaces de renouvellement d'air pour prévenir une humidification qui aurait été causée par l'évaporation de l'eau incluse dans les matériaux de

construction (cause endogène) tels que les ouvrages de fondation, les cages d'ascenseur, les complexes de chapes humides rapportés.

Enfin, il faut souligner que plusieurs produits de cette famille font l'objet d'Avis Techniques, de documents techniques d'application ou d'Évaluations Techniques Européennes et que certaines spécificités particulières, propres au produit pour lequel l'avis est formulé, y sont décrites. Il relève de la mission des constructeurs de s'y référer au cas par cas.

6.2. • *Généralité*

6.2.1. • Contenu des travaux

Par analogie avec le corpus des documents techniques unifiés (DTU) servant habituellement de cahier des clauses techniques particulières (CCTP) types, et en l'absence d'autres dispositions précisées dans les documents particuliers de marché (DPM), l'entreprise en charge de la mise en œuvre des ouvrages en panneaux CLT est chargée de réaliser :

- les études, les dessins d'exécution et de détail de toutes les structures en bois, porteuses ou non, comprenant aussi le calepinage et le sens des panneaux, les types et les détails des ancrages en pied de panneaux et des chaînages en tête des panneaux et autres détails (traitement des ouvertures, par exemple) ;
- l'ordonnancement prévisionnel de livraison et de pose, le poids des panneaux et les conditions de levage ;
- l'acceptation des supports : l'état et les caractéristiques dimensionnelles ;
- le plan d'implantation des réservations nécessaires au titulaire du lot gros œuvre
- l'implantation des panneaux ;
- les moyens de manutention et de levage et les moyens de sécurité spécifiques à la mise en œuvre ;
- le transport, la pose et le réglage des ouvrages ;
- la fourniture et la pose de tous les matériaux entrant dans la structure, y compris les linteaux et les renforts divers ;
- la protection des éléments durant la phase chantier ;
- la fourniture et la pose des éventuels éléments nécessaires pour respecter les largeurs minimales d'appui pour supporter les ouvrages de couverture ou d'étanchéité ;
- la fourniture et la pose de la barrière d'étanchéité à l'eau et du calfeutrement à l'air entre la lisse basse et l'ouvrage de maçonnerie ;

- la fourniture et la pose des éléments de stabilité provisoire si nécessaire ;
- le nettoyage et la libération du chantier, en ce qui concerne les travaux correspondants ;
- les chevêtres et les renforcements de structure nécessaires à l'exécution d'autres ouvrages tels que définis sur les plans et dans le descriptif ;
- la réalisation des orifices de ventilation en sous-face de l'élément porteur support d'étanchéité de toiture froide lorsque cet élément porteur participe à la stabilité de la structure ;
- les percements et les entailles dans les éléments de structure, nécessaires au passage des réseaux, lorsqu'ils affectent les qualités propres de ceux-ci et nécessitent des renforts et des justifications.

6.2.2. • Tolérance du support

L'état et les tolérances admissibles des supports doivent respecter les tolérances définies par les normes d'exécution des structures porteuses. Les principales normes de référence sont :

- pour les structures en béton :
norme EN 13670 ;
NF DTU 13.3 ;
NF DTU 20.1 ;
NF DTU 21 ;
- pour les structures en bois :
NF DTU 31.1 ;
NF DTU 31.2.

Des prescriptions particulières spécifiques peuvent être définies dans les documents particuliers du marché.

Pour les ouvrages en béton, on peut, par exemple, considérer que ces tolérances s'illustrent de la façon suivante (Tableau 33) :

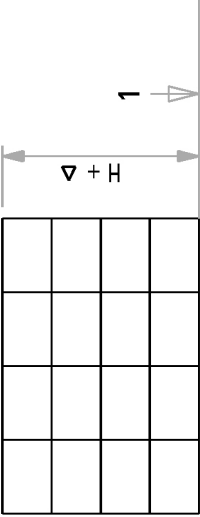
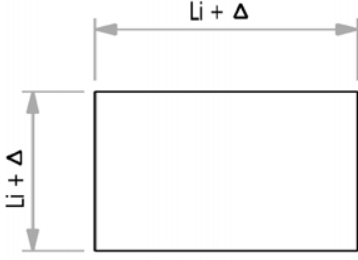
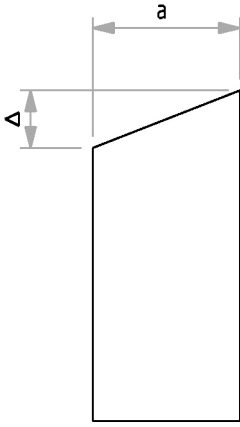
6.2.3. • Passage des réseaux dans l'épaisseur du panneau CLT

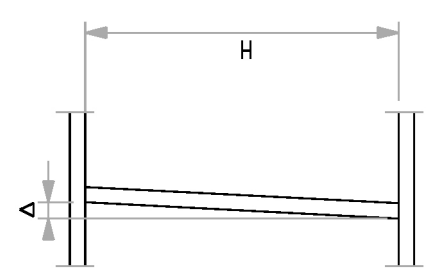
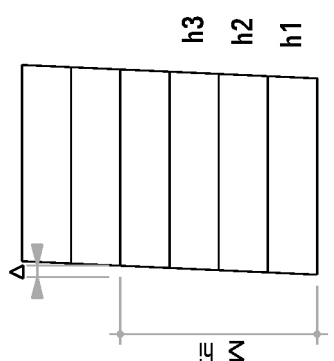
Des réservations pour câbles techniques peuvent être réalisées dans les panneaux CLT par fraisage. Il convient de respecter toutes les normes relatives à ces réseaux eux-mêmes et de leur intégration dans une paroi quelconque. Les documents qui traitent plus particulièrement de ces sujets sont les normes NF C15-100 et la NF DTU 70.1.

Ces possibilités de cheminement et d'implantation dans les panneaux sont majoritairement aménagées en usine à partir de la fourniture

Tableau 33 : Tolérances pour les ouvrages en béton

Critère	Illustration	Tolérances EN 13670	Tolérances DTU	
			N° DTU	Tolérances
Planéité des surfaces		Planéité à la règle : globale : l = 2,0 m : 9 mm locale : l = 0,2 m : 4 mm	DTU 21	État de surface Brut de règle : 15 mm sous 2 m Surfacé : 10 mm sous 2 m, 3 mm sous 20 cm Lissé : 7 mm sous 2 m, 2 mm sous 20 cm <i>Choix surfacé par défaut</i>
Rectitude horizontale des poutres		La plus grande des 2 valeurs : ± 20 mm ou 1/600	DTU 20.1	Pour 1 m : ± 10 mm Pour 10 m : ± 50 mm
Écart de niveau entre les abouts d'une poutre ou d'une dalle		± (10 + 1/500) mm		
Distance entre 2 niveaux d'étages consécutifs au droit des appuis		± 20 mm	DTU 21	± 20 mm

Critère	Illustration	Tolérances DTU	
		N° DTU	Tolérances
Niveau de l'étage supérieur mesuré par rapport au niveau de référence local	 1: Niveau de référence	$H \leq 20 \text{ m} : \pm 20 \text{ mm}$ $H \leq 20 \text{ m} : \pm 0,5 (H+20)$ <i>Limité à 50 mm</i>	
Dimensions transversales de la section applicable aux poutres, dalles et poteaux	 Li: Longueur d'une dimension transversale	DTU 21	$li < 150 \text{ mm} : \pm 10 \text{ mm}$ $li = 400 \text{ mm} : \pm 15 \text{ mm}$ $li \geq 2\,500 \text{ mm} : \pm 30 \text{ mm}$ avec interpolation linéaire pour les valeurs intermédiaires <i>(classe de tolérance 1)</i>
Équerrage	 a: Longueur d'une des dimensions de la section		La plus grande des 2 valeurs : $\pm 0,04a$ ou $\pm 10 \text{ mm}$ avec une limite supérieure égale à $\pm 20 \text{ mm}$

Critère	Illustration	Tolérances EN 13670	Tolérances DTU	
			N° DTU	Tolérances
Espace libre entre poteaux ou murs adjacents		La plus grande des 2 valeurs : ± 20 mm ou $1/600$ mm avec une limite supérieure égale à 60 mm	DTU 21	Distance entre axes La plus grande des 2 valeurs : ± 20 mm ou $1/600$ mm
			DTU 20.1	± 20 mm
			DTU 21	La plus grande des 2 valeurs : 15 mm ou $h/300$
Inclinaison d'un poteau ou d'un mur à tous les niveaux dans un bâtiment de un ou plusieurs étages	 H: Hauteur libre	La plus grande des 2 valeurs : $h \leq 10$ m : 15 mm ou $h/400$ $h > 10$ m : 25 mm ou $h/600$	DTU 20.1	20 mm sur une hauteur d'étage
Position de l'axe d'un poteau ou mur à tous les niveaux par rapport à la verticale de son centre théorique au niveau bas d'une structure à plusieurs étages n : nombre de niveaux ($n > 1$)	 Σh_i: Somme des hauteurs des étages considérées Σh_i : somme des hauteurs des étages considérés	La plus petite des 2 valeurs : 50 mm ou $\Sigma h_i / (200 n^{1/2})$	DTU 21	La plus grande des 2 valeurs : 50 mm ou $\Sigma h_i / (200 n^{1/2})$
			DTU 20.1	± 50 mm maxi pour un bâtiment de 3 étages ou plus



Critère	Illustration	Tolérances DTU	
		N° DTU	Tolérances
Réservations rectangulaires	Li: Longueur d'une dimension transversale Δ_x : écarts par rapport aux axes x et y Δ_y : écarts sur les dimensions de la réservation		± 25 mm sauf préco-nisation différentes dans les spécifications d'exécution

d'un plan d'implantation et de cheminement des réseaux par le lot concerné (par exemple, dans les conditions du § 5.1 du DTU 70.1).

Pour ce faire, les plans d'exécution doivent être validés par l'ensemble des acteurs (à commencer par l'utilisateur) et la coordination entre ces lots doit être particulièrement performante pour que les spécificités liées à leur réalisation (rayon de cintrage minimal, par exemple) soient bien intégrées.

Les dimensions maximales des réservations dans les plis porteurs sont les suivantes :

- 50 mm de large ;
- 1 200 mm de long ;
- 2 plis en profondeur ;
- 1/3 des plis concernés au maximum en zone sismique.

Sur des parois séparatives, il faut éviter d'implanter de telles réservations en face à face. Une distance équivalente à la longueur des réservations est souhaitable. Lorsque la paroi doit apporter une isolation et une étanchéité au feu, la réservation doit être comblée avec un matériau incombustible. Dans tous les cas, le bureau d'études structure de l'opération doit valider la position des réservations.

6.2.3.1. • *Réservations dans les panneaux de mur*

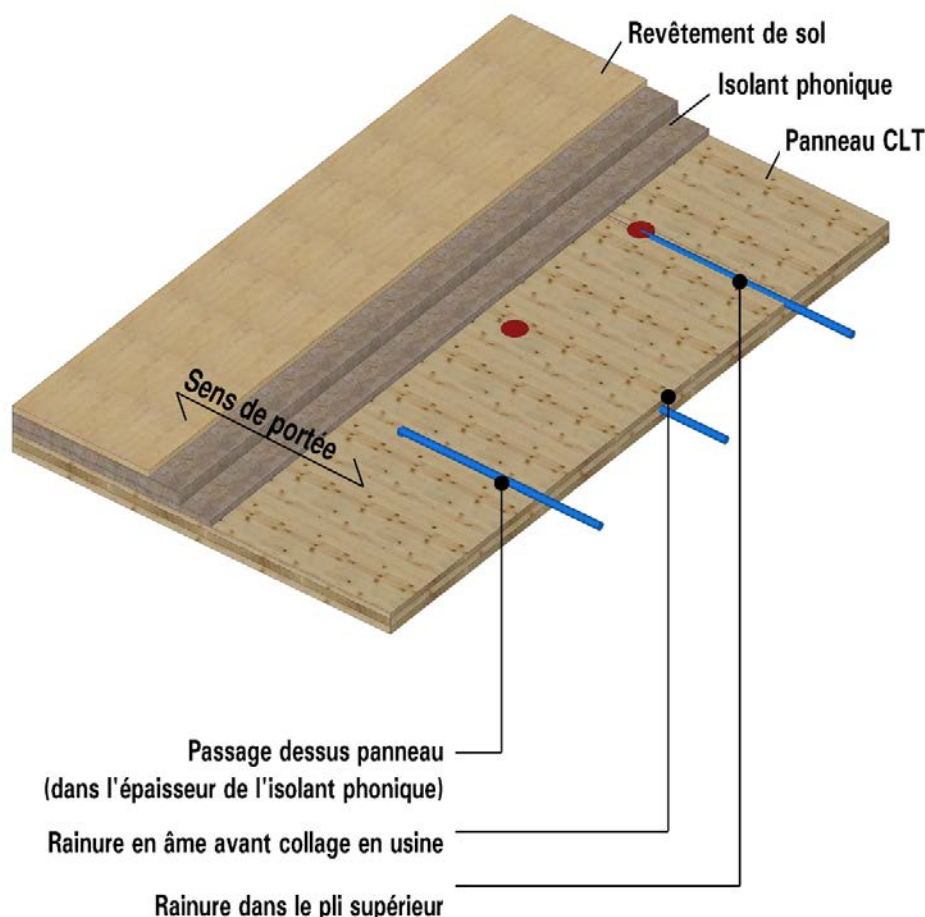
Les réservations dans les murs porteurs sont pratiquées :

- uniquement dans le sens vertical pour les plis à fil vertical ;
- dans toutes les directions pour les plis à fil horizontal (hors zone sismique) ou dans les panneaux non structuraux.

6.2.3.2. • *Réservations dans les panneaux de plancher*

Les réservations dans les planchers porteurs sont pratiquées :

- uniquement dans le sens de la portée pour les plis à fil longitudinal ;
- dans toutes les directions pour les plis à fil transversal à la portée.



▲ Figure 50 : Configurations envisageables

6.2.3.3. • Autres réseaux

Le passage du réseau d'eau potable dans les CLT n'est pas conseillé. La déformation des panneaux sous les divers chargements n'est pas forcément compatible avec la rigidité de ce réseau. De même, les réseaux de VMC présentent des diamètres importants (couramment de 75 à 200 mm) qui ne peuvent pas être intégrés dans les panneaux CLT.

Il faut envisager de passer :

- en doublage intérieur ;
- en faux plafond ;
- dans des gaines techniques prévues à la conception.

6.2.4. • Stockage et protection face aux intempéries

L'approvisionnement se fait la plupart du temps *via* des camions semi-remorques. Les accès au chantier et les voies de circulation sur le chantier doivent donc permettre la circulation et la manœuvre de tels véhicules.

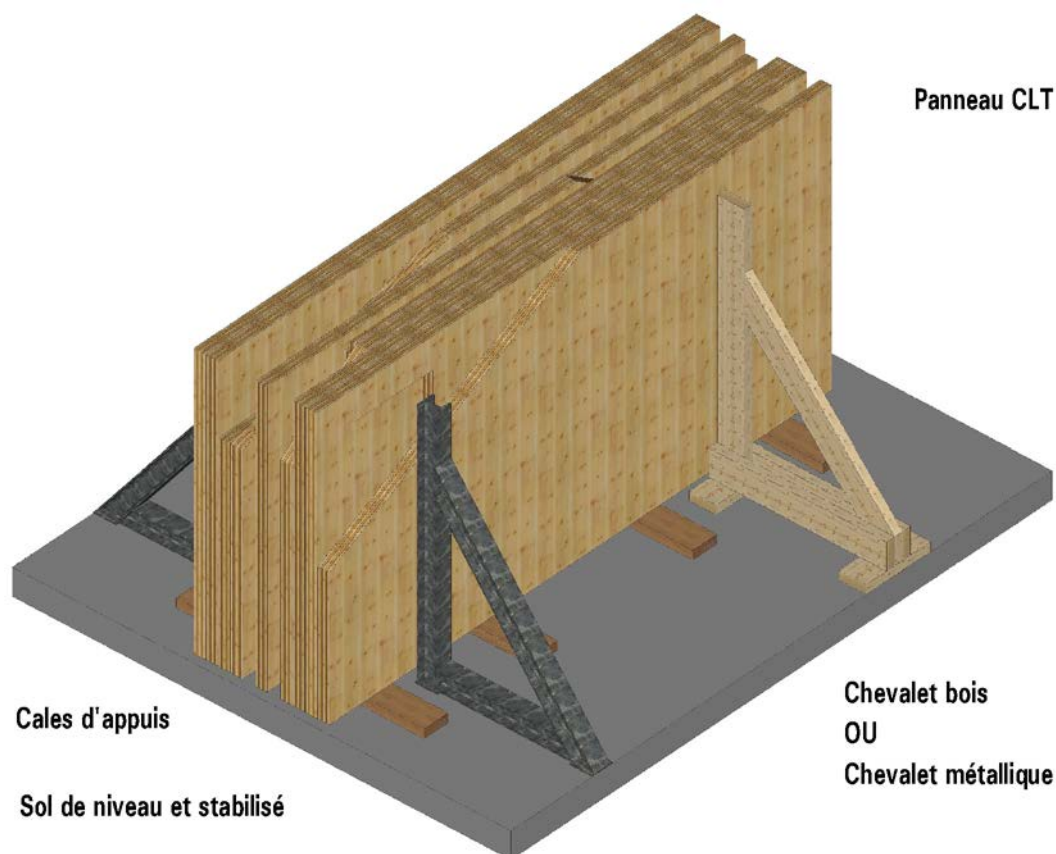


Une enquête approfondie, voire une visite sur place, pour évaluer les conditions d'accès doit être réalisée avant toute programmation de livraison. Cette information peut compiler, par exemple, les tirants d'air sous obstacle (ponts, portails, lignes électriques ou téléphoniques, etc.), les largeurs des voies, la nature des chaussées et des voies internes au chantier, ainsi que les possibilités de manœuvre.

Le stockage sur le chantier des éléments doit être effectué sur une aire régulièrement plane et stable prévue par la maîtrise d'œuvre réalisée en concertation avec l'entreprise ; ainsi, l'aire de livraison doit être facile d'accès pour les camions. Il est nécessaire de protéger les éléments de toute humidification.

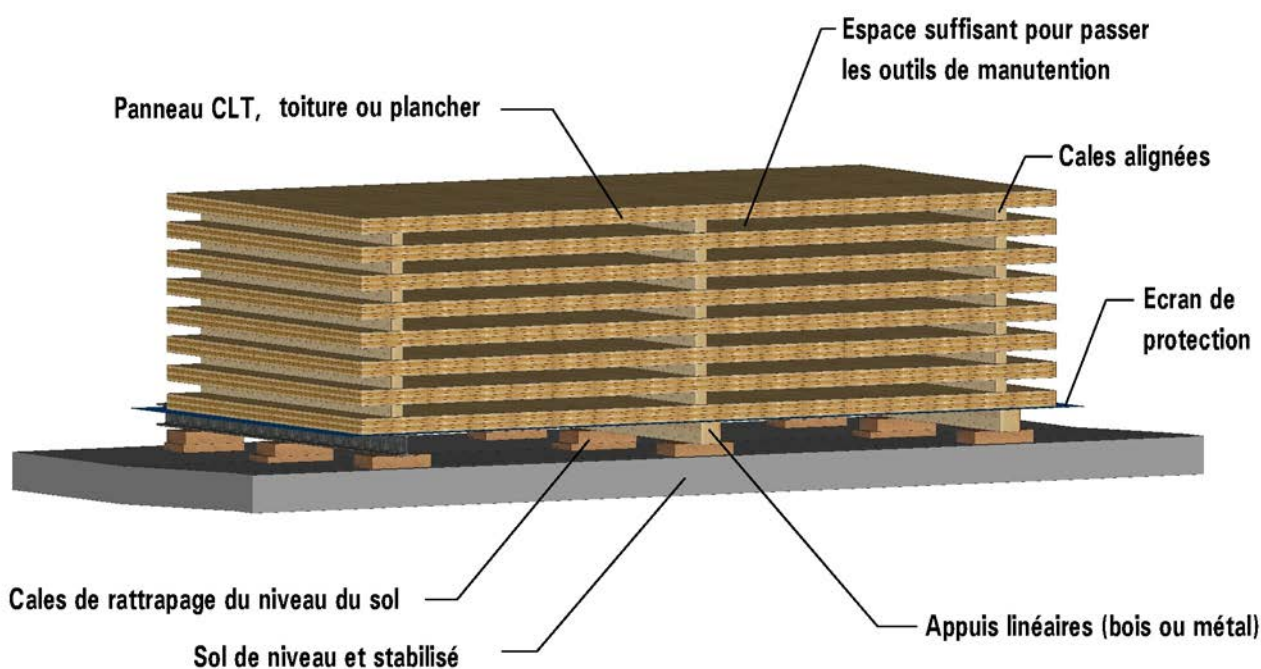
Pour cela, il est recommandé d'adopter les dispositions suivantes :

- réaliser le déchargement et le stockage temporaire sur une aire propre et stable, sans risque d'accumulation d'eau et limitant les possibilités de rejaillissements. Cette aire peut être :
 - assez couramment : une plateforme en grave reconstituée humidifiée compactée, grave-ciment, plateforme à la chaux ou autre matériaux d'apport pouvant servir à une assise de dallage ; une campagne d'essai à la plaque selon les modalités du DTU 13.3 P2 et avec une valeur cible de 5 bars/cm pour le module de réaction K_w , dit « de Westergaard », permet d'attester des qualités de cette plateforme ;
 - plus exceptionnellement : si cette zone est réutilisée ultérieurement, elle peut être constituée d'une aire en enrobés de béton bitumineux, d'un dallage, voire d'un radier, d'épaisseur suffisante en fonction des charges à reprendre. Une probable réfection *via* un ragréage autorisera la nouvelle utilisation ;
- sur cette aire :
 - assez couramment : des cales en bois sont interposées entre les panneaux et le sol support ;
 - plus exceptionnellement : des tables de stockage sont utilisées après avoir vérifié leur stabilité et l'absence de possibilité de poinçonnement du sol support ;
- stocker les éléments de mur à la verticale préférentiellement sur des chevalets.



▲ Figure 51 : Exemple de mode de stockage vertical

Les éléments de toiture et de plancher peuvent être stockés à l'horizontale pourvu que les cales entre éléments soient suffisamment rapprochées les unes des autres et alignées sur une même verticale ;



▲ Figure 52 : Exemple de mode de stockage horizontal

Il est nécessaire de protéger tous les éléments par un écran imperméable. Cet écran, qui doit présenter simultanément

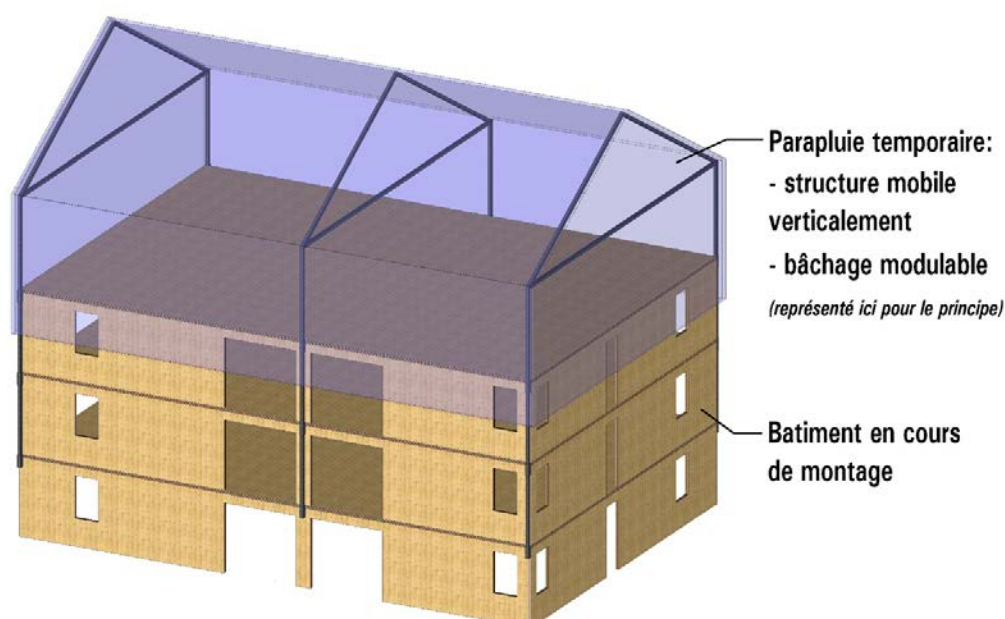
des caractéristiques précises, ne peut être une bâche posée hermétiquement :

- il est « respirant », avec un facteur Sd proche d'un pare-pluie (0,18 m), pour éviter tout confinement qui cause immanquablement des condensations importantes en sous-face lors d'épisodes d'évaporation de l'eau ruisselante en surface de la plateforme ou incluse dans le matériau constitutif de celle-ci ;
- il est de couleur sombre (gris, anthracite ou noir) pour permettre aux infiltrations éventuelles de sécher rapidement ;
- il est solidement mis en œuvre avec des contre-lattes, pour résister aux vents, et avec des recouvrements adaptés aux conditions locales (concomitance et orientation cardinale vent-pluie) ;
- il est de type non glissant pour ne pas générer des risques pour le personnel de chantier.

Lors du montage des éléments, il convient de prendre des mesures adaptées pour d'éviter une humidification importante du bois. Ces mesures sont fonction de la météo, du déroulement du montage et de la rapidité de mise en œuvre des ouvrages de protection. Dans tous les cas, il faut éviter toute stagnation ou accumulation d'eau liquide sur les planchers ainsi que tout confinement d'humidité. Pour répondre à cette préoccupation, les mesures suivantes peuvent être envisagées :

- pour les petits ouvrages : il est concevable de mettre en œuvre les panneaux de couverture dans un délai raisonnable. Une protection limitée à la partie d'ouvrage, qui peut être l'écran décrit *supra*, peut alors être mise en place en appui sur ces panneaux. Si un arrêt de chantier doit avoir lieu en cours de construction, surtout s'il est provoqué par la météo, le bâtiment doit être immédiatement protégé. L'écran de protection utilisé est ensuite sera déposé à l'avancement et au fur et à mesure de la mise hors d'eau et hors d'air du bâtiment ;
- pour les grands ouvrages : la solution idéale, régulièrement utilisée en Europe du Nord, consiste à la mise en place d'une protection permanente au moins au niveau de l'étage en cours de réalisation. Elle se présente sous la forme d'un parapluie qui fonctionne sur le principe d'un coffrage glissant qui s'élève au fur et à mesure de l'érection de la superstructure sous-jacente. Cette solution demande des moyens de levage adaptés et un ordonnancement précis, mais, combinée à un échafaudage de pied, elle peut servir à tous les corps de métier au fur et à mesure de la mise hors d'eau et hors d'air de la construction. Les parapluies de protection peuvent prendre appui au sol ou sur l'ouvrage. Généralement, le contreventement sera assuré par l'ouvrage en construction. Il convient donc, le cas échéant,

de prendre ce sujet en considération dans la justification de l'ouvrage en phase provisoire.



▲ Figure 53 : Exemple du principe d'un parapluie

Quoi qu'il en soit, et pour en garantir la performance, toutes ces dispositions doivent être anticipées le plus en amont possible. L'idéal est qu'elles soient décrites dans les documents particuliers de marché avec affectation et ventilation du coût induit, notamment lorsqu'une solution globale de type parapluie sur échafaudage de pied est à prévoir.

6.3. • Manutention des panneaux CLT

6.3.1. • Généralité

Une attention particulière doit être portée à la manutention des panneaux CLT destinés à la réalisation de murs munis d'ouvertures et transportés tels quels. La phase de manutention pouvant générer des efforts nettement supérieurs à ceux subis par le panneau mis en œuvre dans l'ouvrage, les points d'attache conçus et prescrits par le fabricant doivent être respectés sur chantier.

Les modes de manutention prévus ainsi que les points de levage doivent être précisés par le fabricant et être clairement identifiables pour chaque panneau livré sur chantier ainsi que sur les plans.

Du fait des surfaces de prise au vent importantes lors de la manutention des panneaux CLT, il est impératif, d'une part, de recourir aux précautions habituelles relatives à la manutention des éléments de grandes dimensions et, d'autre part, d'arrêter la mise en œuvre lorsque la vitesse du vent empêche la manutention aisée par deux personnes.

Pour les panneaux CLT comportant une ou plusieurs baies, il est rappelé que l'on doit mettre en œuvre, au moins pour les opérations de manutention, des tirants ou des entretoises de rigidité suffisante afin de répartir sur le plan du panneau les efforts concentrés au droit des points de levage sans engendrer de déformations sensibles.

6.3.2. • Mode de calcul de la charge

Le calcul de la charge à lever peut être effectué selon les étapes suivantes :

- calcul du poids de la pièce avec le poids propre ainsi que les éléments accessoires levés avec la pièce ;
- prise en compte de la charge dynamique. Ce coefficient sert à prendre en compte les charges dynamiques qui apparaissent lors du levage. Il dépend donc du type d'appareil de levage et de sa vitesse ;

▲ **Tableau 34** : Coefficient dynamique

Engin de levage	Vitesse de levage m/s	Coefficient dyna- mique
Grue fixe ou sur rail	< 1	1,15
Grue mobile arrêtée	> 1	1,30
Pont roulant	< 1	1,15
	> 1	1,60
Levage et transport sur terrain plat		2
Levage et transport sur terrain accidenté		≥ 4

- prise en compte de l'angle d'élingage. L'usage sur les chantiers est de conserver un angle au sommet du triangle formé par les élingues inférieur à 60°. Cet usage permet de rester dans des surcharges modérées au niveau des élingues et des points de préhension ;

▲ **Tableau 35** : Coefficient d'amplification

Angle entre élingues (°)	15	30	30	45	60
Coefficient	1	1,01	1,04	1,08	1,16

- prise en compte du nombre de points de levage. En règle générale, le nombre de points de fixation pris en compte dans les calculs est toujours limité à deux, même lorsque le nombre réel de points est de trois ou quatre. Seule l'utilisation d'outils spécifiques comme des palonniers équilibrés ou à poulies permet de prendre en compte l'ensemble des points de fixation.

▲ **Tableau 36** : Nombre théorique de points de levage



Nombre réel de points de fixation	Nombre théorique de points de fixation	
	Normal	Avec palonnier équilibré
4	2	4
3	2	3
2	2	2

6.3.3. • Dimensionnement des outils de manutention

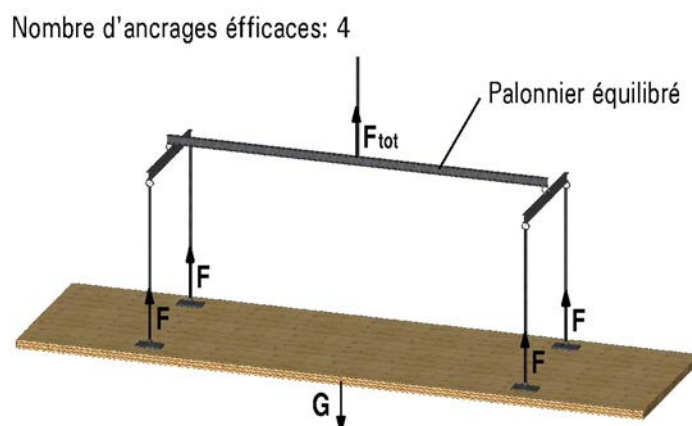
Les outils de manutention sont dimensionnés par leur fabricant respectif. Il convient de se reporter à la documentation technique de chaque fabricant pour s'assurer que la chaîne de manutention peut supporter les charges induites par les panneaux CLT. La chaîne comprend généralement :

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

Les anneaux de levage doivent être reliés au panneau à manutentionner moyennant un dispositif de fixation. Ce dispositif peut être très variable selon les fabricants de panneaux. Il doit être dimensionné comme tous les assemblages suivant l'Eurocode 5. Un coefficient de sécurité de 5 doit être observé entre la résistance caractéristique de l'élément de levage et la charge à lever.

6.3.4. • Exemple de levage

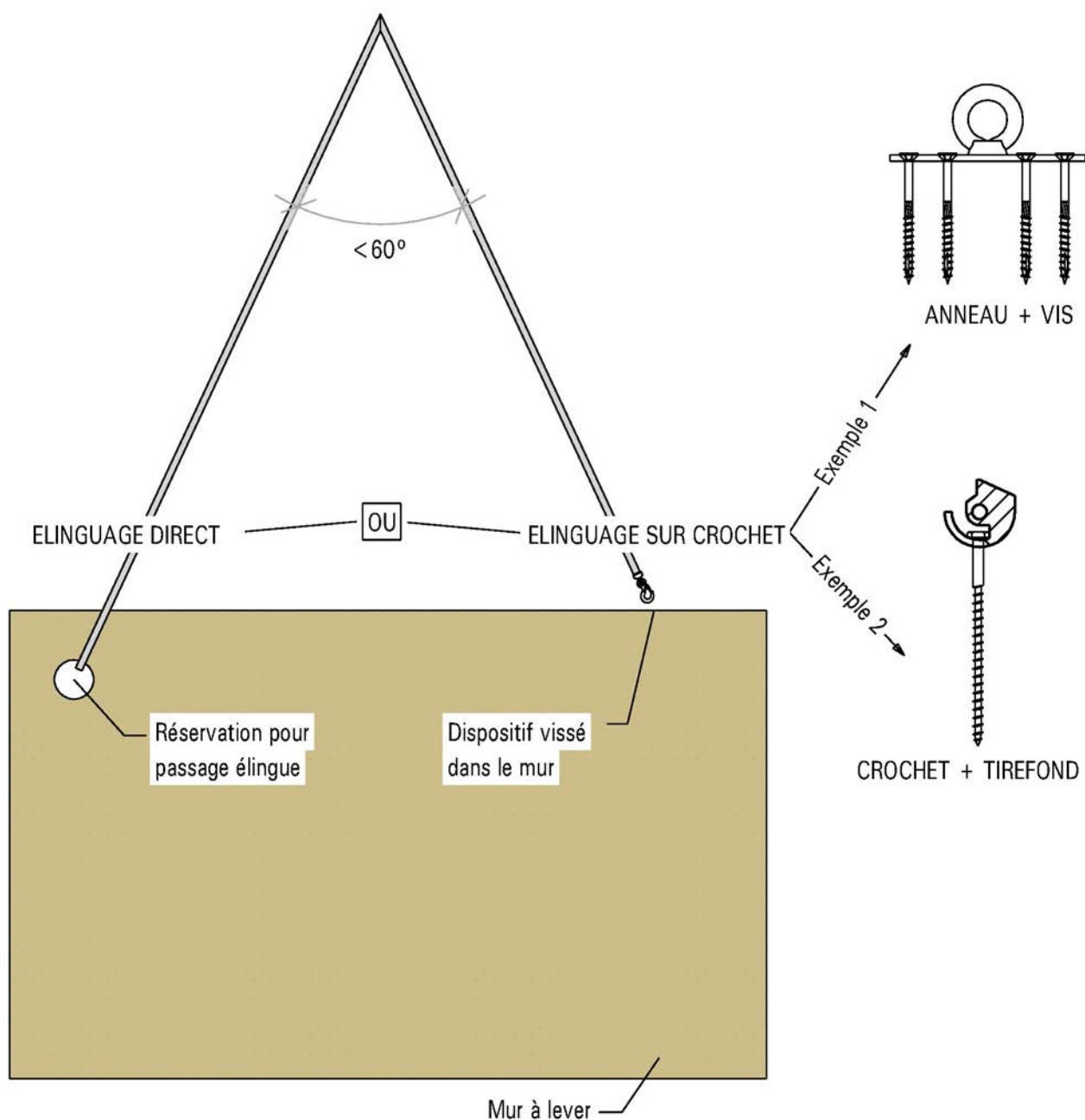
Les planchers sont normalement levés à plat avec quatre points de levage. Ces points doivent être dimensionnés en fonction de la masse des panneaux. Dans cette configuration, seuls trois points de levage peuvent être considérés comme travaillant simultanément en raison des imperfections diverses. Si le panneau est particulièrement raide, seul deux points doivent être considérés dans le dimensionnement.



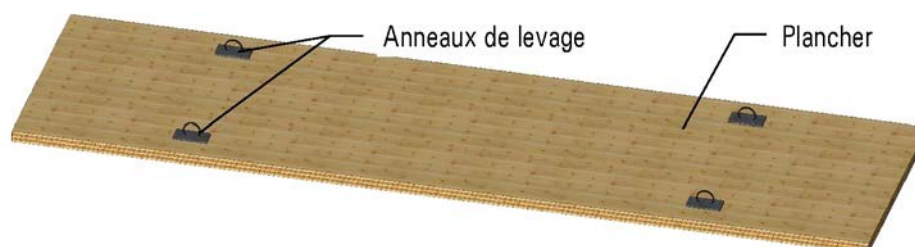
▲ Figure 54 : Plancher avec quatre points de levage

Dans tous les cas (mur ou plancher), il convient de respecter un angle à 60° entre les élingues inférieures. Une manutention à l'aide de palonniers réglables permet de limiter les efforts au maximum.

Il n'est pas possible de manutentionner les éléments en utilisant les sangles seules.

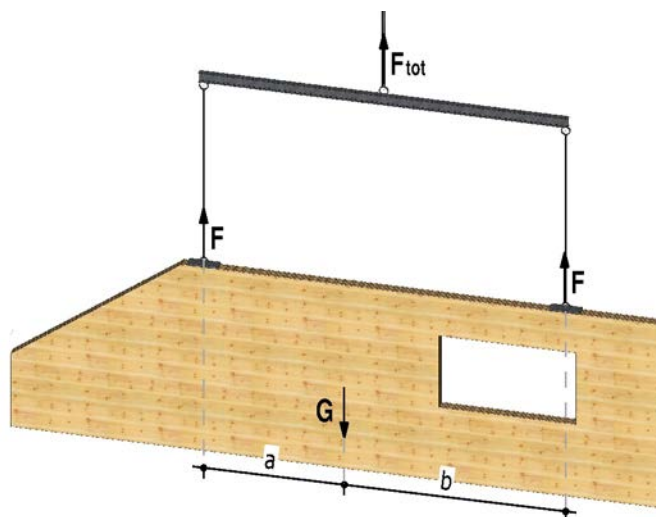


▲ Figure 55 : Levage d'un mur



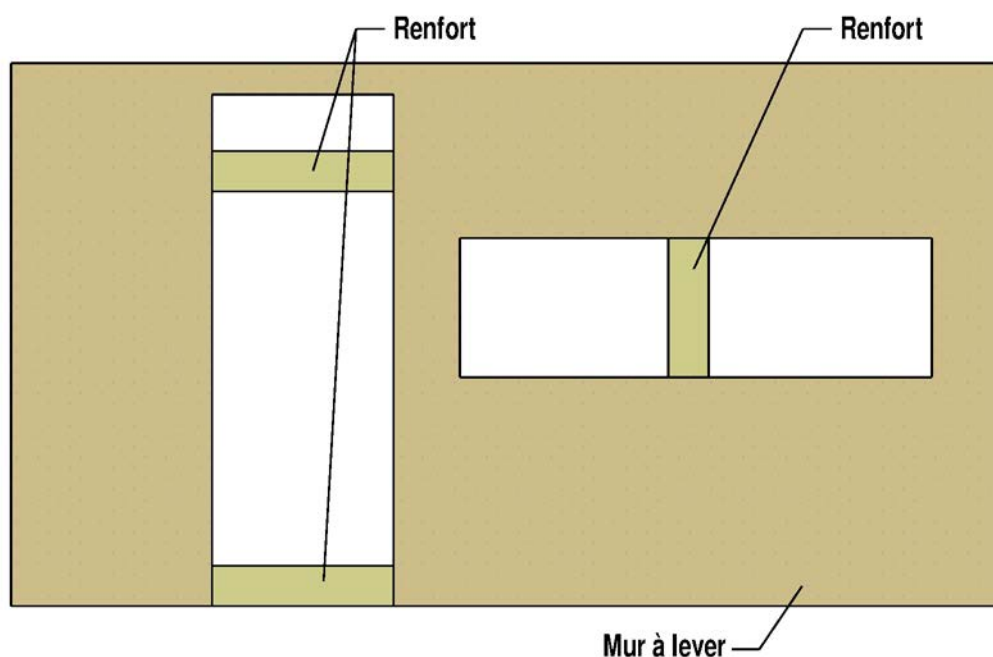
▲ Figure 56 : Exemple de crochets sur panneau de plancher

Lors de la manutention de panneaux dissymétriques ou comportant des baies, il est important d'équilibrer les charges. Pour cela, il faut aligner le centre de gravité de la pièce avec le crochet de levage de la grue. Il est préférable que la position du centre de gravité soit indiquée sur le panneau dès la sortie de l'usine.



▲ Figure 57 : Équilibrage des charges

Pour les panneaux possédant des ouvertures de grandes dimensions, il est nécessaire de prévoir des renforts afin de limiter les déformations. Ces renforts sont à dimensionner en fonction des efforts réels de levage.



▲ Figure 58 : Exemples de renfort sur les ouvertures

6.4. • Pose des panneaux

La pose des panneaux suit le plan de calepinage prévu en phase étude. Les consignes de sécurité habituelles doivent être respectées, notamment celles concernant :

- le levage d'éléments encombrants et lourds ;
- le travail en hauteur.

Les schémas proposés dans ce guide ne sont que des principes qu'il est nécessaire d'adapter aux contraintes de chaque chantier. Les principes particuliers aux panneaux CLT peuvent être :

- les opérateurs ne doivent pas prendre appui sur une paroi non stabilisée par les étais prévus, ils doivent privilégier les plateformes individuelles roulantes, voire les plateformes élévatrices mobiles pour les grandes hauteurs ;
- de monter l'échafaudage en partie extérieure en même temps que le gros œuvre afin de disposer de plateformes sûres ;
- de mettre en place les garde-corps des planchers ou des crochets pour baudrier et ligne de vie directement sur le lieu de stockage avant le levage.

6.4.1. • Acceptation des supports

L'acceptation des supports est réalisée pour vérifier que les tolérances énoncées au (cf. 6.2.2.) sont respectées. Cette acceptation est entreprise par le lot qui est en charge de la fourniture et de la pose de la structure en panneaux CLT et elle est contradictoire avec les lots concernés. Elle consiste, en particulier, à une vérification géométrique de l'implantation des ouvrages avec lesquelles la structure en CLT a des interactions.

Bien souvent, le respect des tolérances dues par défaut par le gros œuvre oblige à avoir recours à des pièces d'adaptation pour permettre l'interfaçage entre des éléments coulés en place et des composants préfabriqués en usine. À ce titre, donc, il est régulièrement nécessaire de devoir procéder à des calages ponctuels sous des pièces d'adaptation.

Dans cette mesure, il est impératif de compléter ces calages ponctuels par des calages surfaciques ou linéiques réalisés avec des mortiers prêts à l'emploi à retrait compensé. Ces dispositions permettent à la fois de garantir des assises parfaitement de niveau et des aplombs réellement verticaux et d'assurer la bonne transmission des actions mécaniques aux différents supports.

En outre, le bon traitement de ces sujets par pièces d'adaptation permet en même temps de faciliter la gestion de l'étanchéité à l'air et de l'acoustique par limitation des transferts parasites d'air. Ainsi, les supports étant acceptés et les pièces d'adaptation en place, les grandes phases de mise en œuvre peuvent suivre.

6.4.2. • Phases de mise en œuvre pour les panneaux verticaux

Les grandes phases de mise en œuvre sont les suivantes :

1. préparation du pied de mur (implantation, étanchéité à l'air et lisse basse) ;

2. levage des panneaux à la grue dans l'ordre prévu et positionnement ;
3. réalisation des assemblages des pieds de voile ;
4. mise en place et assemblage des étais provisoires avec les parois ;
5. retrait de la grue ;
6. assemblage aux éventuelles parois déjà en place ;
7. mise en œuvre des procédés d'étanchéité à l'air.

6.4.2.1. • Préparation du pied de mur

Après acceptation du support, l'entreprise réalise l'implantation du bâtiment par traçage de l'emplacement de tous les murs du niveau.

Ensuite, elle met en place, lorsque cela est prévu, les lisses basses en réalisant leur mise de niveau. Les équerres d'ancrage des murs peuvent être prépositionnées lors de cette phase.

Étanchéité à l'air par joint

Dans le cas d'une étanchéité à l'air par joint, celle-ci devra être mise en place entre la dalle et la lisse basse puis sur la lisse (ou support dalle bois) pour être comprimée lors de la pose du panneau CLT.

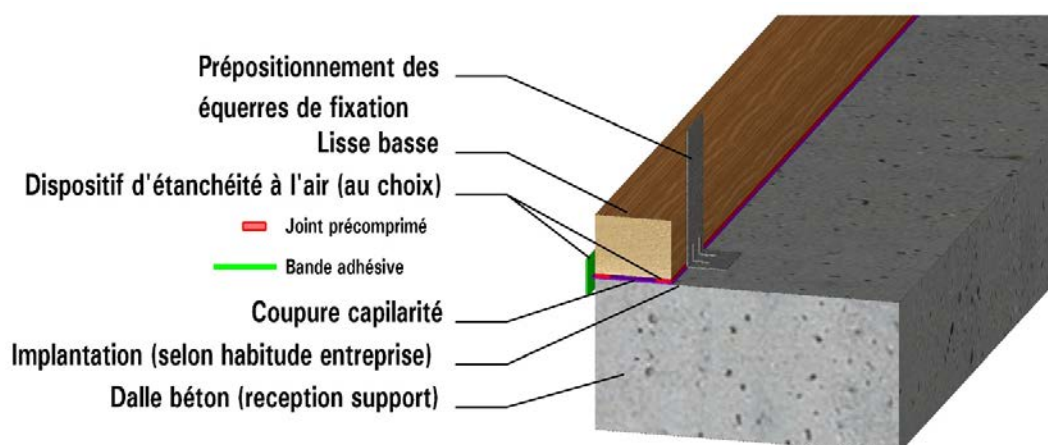
Si le système d'étanchéité à l'air retenu pour les pieds de mur est du type mousse imprégnée, il devra être mis en œuvre lors de cette phase. Le choix du modèle mousse devra être adapté à sa plage d'efficacité :

- entre soubassement et lisse : dépendant des hauteurs de calage ;
- entre la lisse (ou le plancher CLT pour les étages) et les panneaux CLT : prendre une mousse dont la plage commence à 0,5 mm.

Cette technique d'étanchéité à l'air ne permet pas d'effectuer un contrôle visuel de sa bonne mise en œuvre, le risque étant de la détériorer si le panneau CLT est déplacé horizontalement après sa pose pour régler sa mise en position.

Dalle maçonnée

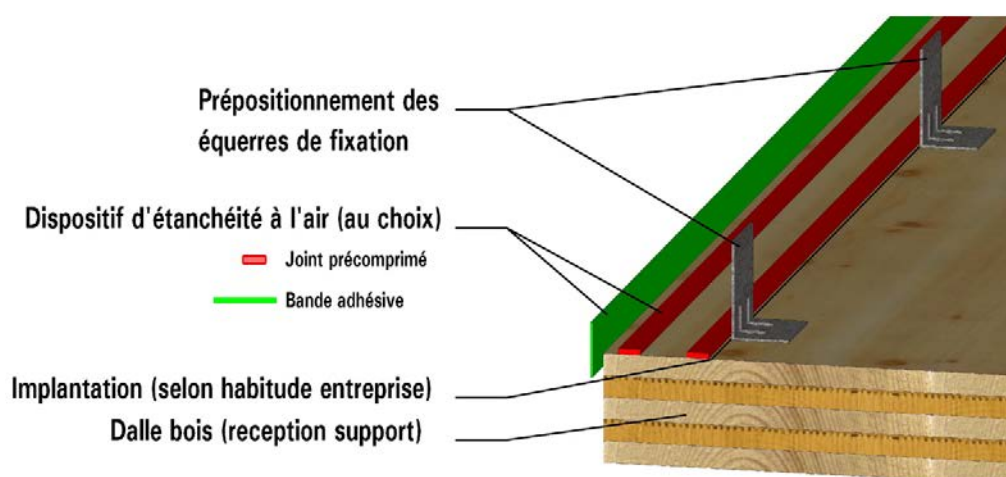
Sur dalle maçonnée, il faut d'abord planter la lisse basse. S'agissant d'une implantation sur ouvrage maçonné (ou métallique s'il y a risque de condensation), la pose d'une barrière anticapillarité est nécessaire. La lisse basse est de classe d'emploi 2 ou 3 selon qu'elle est ou non traversée par un organe de fixation type cheville.



▲ Figure 59 : Traçage et étanchéité sur support maçonné

Plancher en bois

Sur plancher en bois (cas des étages, notamment), la position des murs est en général tracée directement sur le support.



▲ Figure 60 : Traçage et étanchéité sur support en bois

6.4.2.2. • Montage des voiles verticaux

Les panneaux CLT sont amenés à pied d'œuvre par un moyen de levage adéquat (cf. 6.3.), et ce, dans un ordre précis, déjà convenu, et qui doit correspondre à l'ordre de déchargement du camion de livraison. Ensuite, les panneaux sont positionnés sur leur support conformément à l'implantation.

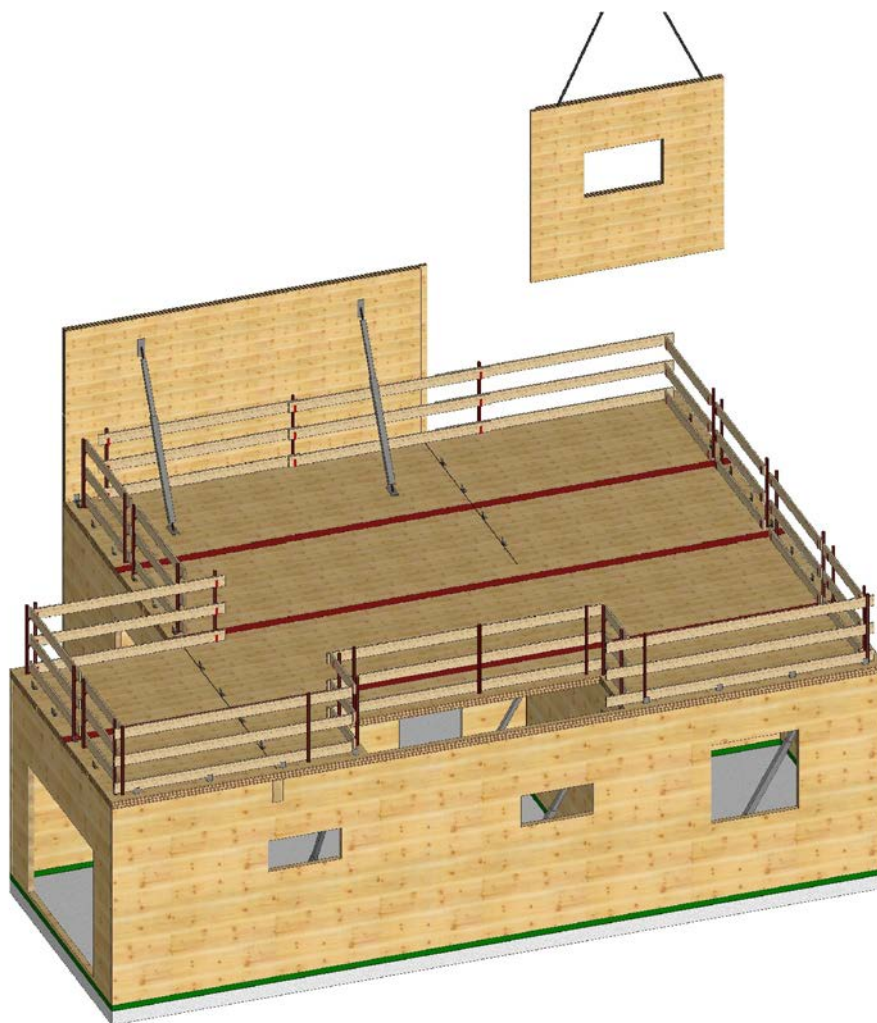
La mise en place précise d'un panneau s'effectue avec un cliquet de serrage en le faisant glisser sur son support. Une fois en place, et avant le retrait de l'élingue, le voile doit être maintenu en tête par au minimum deux étais tirants-poussants et en pied par la fixation dans son support (équerre, par exemple). Une fois le panneau stabilisé, il peut être détaché de la grue.

Pendant la rotation de la grue, l'équipe de montage doit vérifier, et corriger au besoin, l'aplomb du voile à l'aide du tirant et son horizontalité

en corrigeant avec un lève-mur. Le panneau est alors fixé définitivement au reste de la structure (verticalement à un panneau adjacent, par exemple).

Si l'étanchéité à l'air à la jonction des panneaux est réalisée par un joint extrudable, celui-ci doit être réalisé à cet instant, avant l'arrivée du panneau suivant.

Le montage des panneaux s'enchaîne alors.



▲ Figure 61 : Principe de montage des panneaux verticaux

Une fois l'ensemble d'un niveau posé, les autres éléments de structure peuvent être mis en place (poteaux, poutres, etc.), ainsi qu'un joint éventuel (pour l'étanchéité à l'air) sur la tête de mur avant de recevoir le plancher ou la toiture. Enfin, un contrôle visuel est effectué avant d'avancer dans le montage.

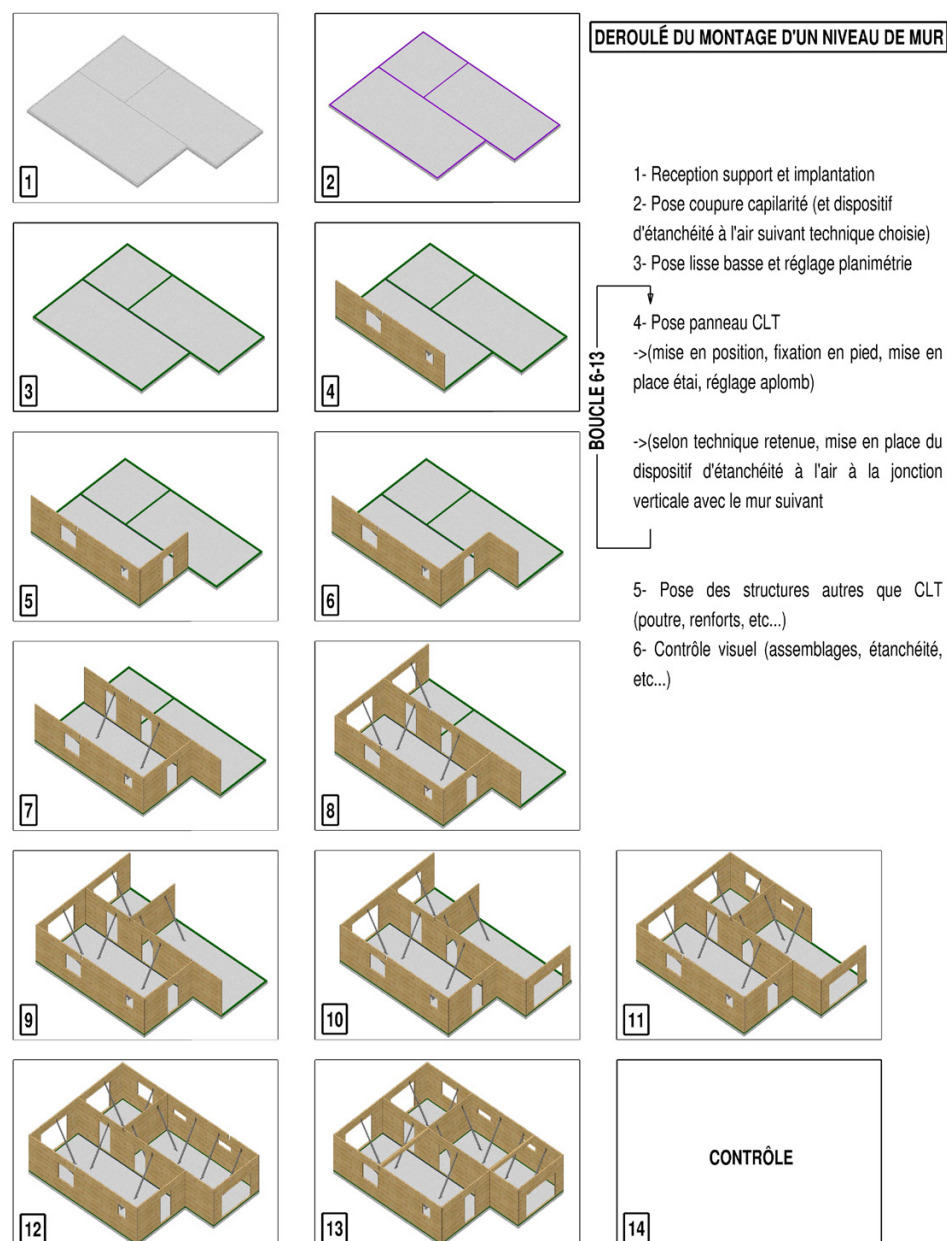
6.4.2.3. • Autocontrôle

À la fin du levage d'un niveau de mur, un autocontrôle peut être effectué, dossier de pose en main, par un membre de l'équipe de montage. Il s'agit alors de vérifier :

- la présence de tous les assembleurs de pieds de mur ;

- l'assemblage des murs entre eux (en angle et en continuité sur une même façade) ;
- la présence des dispositifs d'étanchéité à l'air (si cela est vérifiable) ;
- la présence de tous les étais tirants-poussants ;
- la bonne mise en place de toutes les pièces structurelle non CLT (poutres, raidisseurs, etc.).

Ce contrôle peut être consigné dans le dossier de pose.



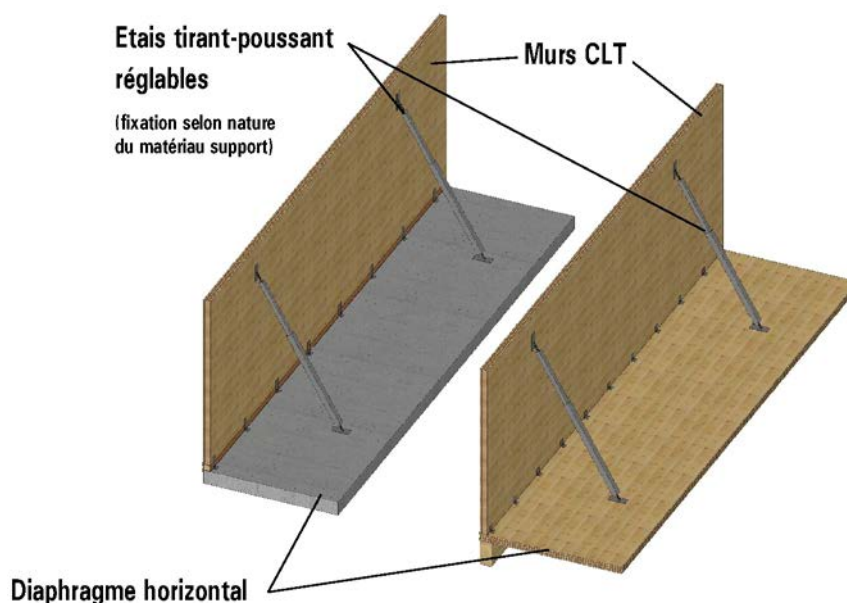
▲ Figure 62 : Montage d'un niveau de mur

6.4.2.4. • Stabilité provisoire de chaque panneau

Les panneaux sont positionnés à l'aide d'une grue assistée par un opérateur situé sur le plancher à l'abri du garde-corps. La première

opération consiste à fixer le pied des panneaux avant de mettre en place les étais tirants-poussants. La grue peut ensuite être libérée.

Des éléments provisoires de contreventement doivent être installés tant que la structure n'a pas acquis sa stabilité propre. Ces étaielements sont constitués d'étais tirants-poussants à raison de deux, au minimum, par élément.



▲ Figure 63 : Stabilisation des murs

6.4.3. • Phases de mise en œuvre pour les panneaux horizontaux

Les six phases de mises en œuvre pour les panneaux horizontaux sont, dans l'ordre :

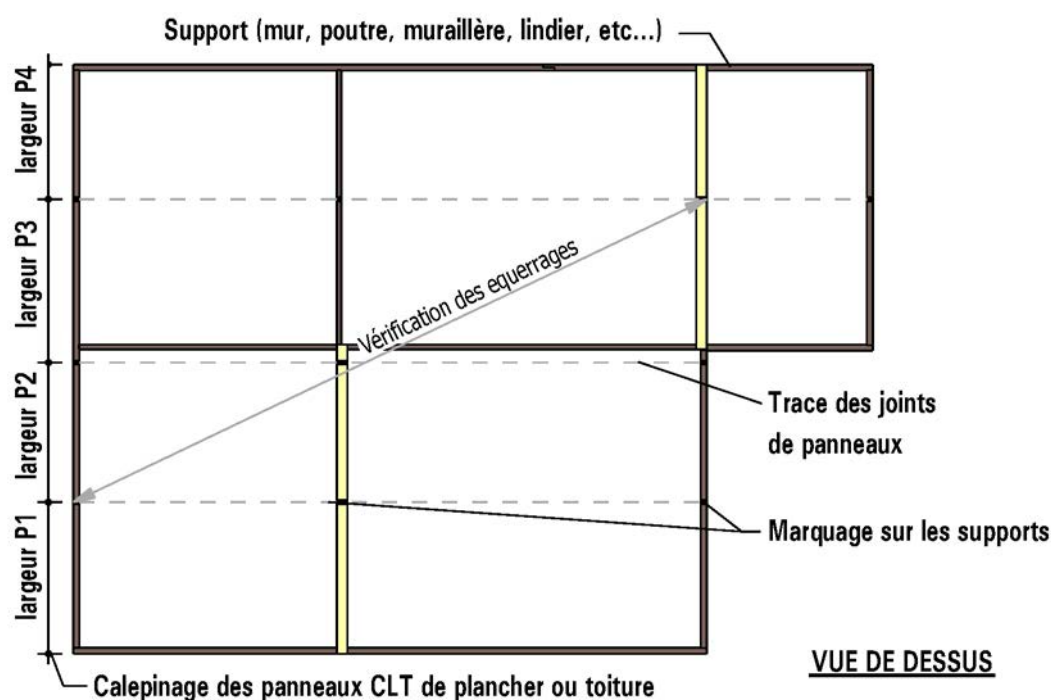
1. la préparation du support ;
2. le levage des panneaux à la grue dans l'ordre prévu et leur positionnement ;
3. l'assemblage provisoire avec les parois verticales ;
4. le retrait de la grue ;
5. l'assemblage provisoire avec les éventuels panneaux de plancher déjà en place ;
6. l'assemblage définitif après réglages.

6.4.3.1. • Préparation du support

Le support de panneaux CLT posés horizontalement est usuellement un niveau de murs posé précédemment (CLT ou ossature en bois) mais il peut s'agir d'ouvrages nécessitant une préparation :

- lisse bois sur tête de murs maçonnés pour mise à niveau (cf. 6.4.2.1) « Préparation du pied de mur » ;
- poutraison, système poteaux-poutres, lindier, muralière, etc. formant la structure porteuse primaire.

Dans tous les cas, les panneaux CLT doivent être implantés afin de vérifier la conformité de la pose à l'avancement. Pour ce faire, on trace sur les supports la position des jonctions de panneau selon le calepinage prévu, en vérifiant les équerrages.



▲ Figure 64 : Implantation des panneaux

Étanchéité à l'air

Si l'étanchéité à l'air à la jonction support-panneaux horizontaux est réalisée par un joint, celui-ci doit être mis en place lors de la préparation du support, avant le début de la pose. Dans cette phase préparatoire, il est possible de prescrire la pose d'une bande d'amortissement acoustique.

6.4.3.2. • Montage des panneaux

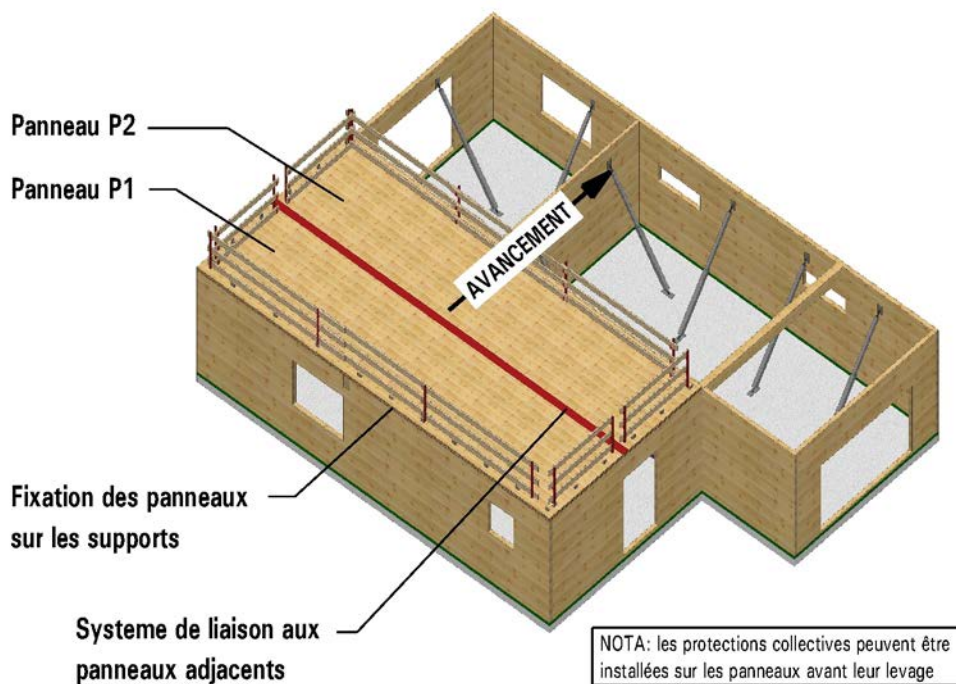
Les panneaux CLT sont amenés à pied d'œuvre par un moyen de levage adéquat (cf. 6.3.), et ce, dans un ordre précis, déjà convenu, et qui doit correspondre à l'ordre de déchargement du camion de livraison. Ensuite, les panneaux sont positionnés sur leur support conformément à l'implantation

La mise en place précise d'un panneau s'effectue avec un cliquet de serrage en le faisant glisser sur son support. Une fois en place, et avant le retrait de l'élingue, le monteur contrôle que le panneau est bien en appui sur ses supports. Le panneau y est alors solidarisé, même partiellement, et le retrait de la grue peut avoir lieu.

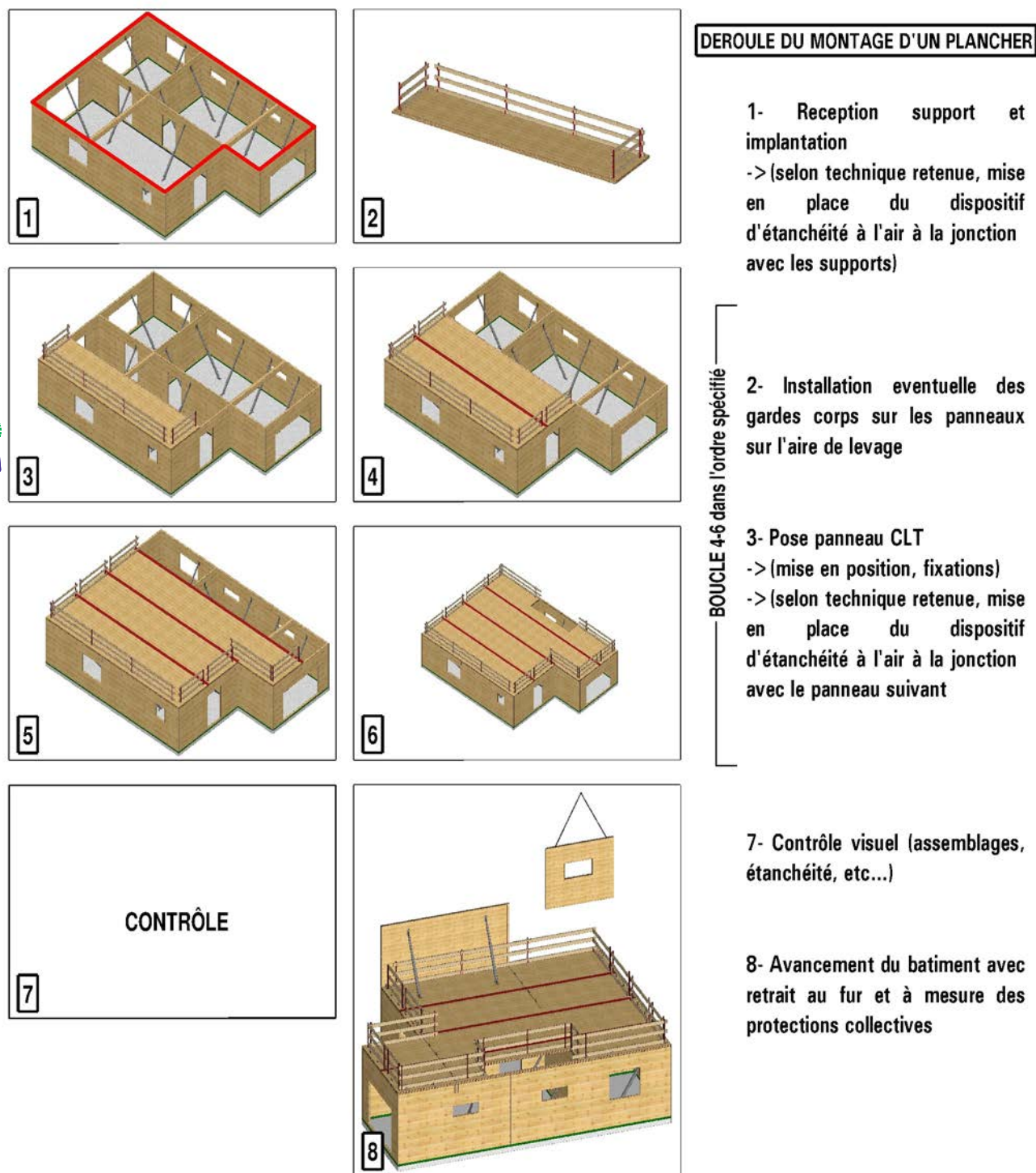
Durant la rotation de cette dernière, l'équipe termine la fixation au support et réalise la liaison avec le panneau précédent.

Étanchéité à l'air

Si l'étanchéité à l'air à la jonction des panneaux est réalisée par un joint, celui-ci doit être réalisé en cette fin de phase, sur la tranche, et avant l'arrivée du panneau suivant.



▲ Figure 65 : Avancement de la pose



▲ Figure 66 : Montage d'un plancher

6.4.3.3. • Autocontrôle

À la fin du levage d'un niveau de plancher ou de toiture, un autocontrôle peut être effectué, dossier de pose en main, par un membre de l'équipe de montage. Il s'agit alors de vérifier :

- la présence de tous les assembleurs sur les supports ;
- l'assemblage des panneaux entre eux ;
- la présence des dispositifs d'étanchéité à l'air (si cela est vérifiable) ;

- la présence des protections collectives.

Ce contrôle peut être consigné dans le dossier de pose.

6.4.4. • Stabilité provisoire du bâtiment en construction

Lorsque les phases de montage sont susceptibles d'apporter des charges de nature ou d'intensité différentes de la phase définitive, il y a lieu d'en tenir compte dans l'étude de la structure. Il convient notamment d'appliquer les prescriptions de la norme NF EN 1991-1-6 et son annexe nationale pour définir l'intensité des charges en cours de montage.

Le cas peut, notamment, se présenter dans les situations suivantes :

- exécution d'un étage en plusieurs phases sur plusieurs jours, surtout si l'étage a une hauteur importante ;
- mise en place des planchers après plusieurs hauteurs de mur (absence de diaphragme) ;
- mise en place retardée de contreventements définitifs ;
- exécution d'un ouvrage de second œuvre au cours de laquelle des charges importantes peuvent apparaître : stockage de palettes de maçonnerie, monticule de béton d'une chape avant étalement, etc.

Une organisation satisfaisante du chantier et la rapidité de montage des structures visées dans ce guide doivent permettre de limiter fortement ces situations.

6.4.5. • Étanchéité à l'air

La performance d'étanchéité à l'air dépend des panneaux CLT en partie courante, d'une part, et des traitements de joints, d'autre part. En partie courante des panneaux CLT, la performance va découler :

- de la précision de fabrication ;
- de l'éventuel encollage des champs des planches ;
- des déformations ultérieures des planches en fonction des variations d'humidité.

Les fabricants de panneaux CLT peuvent donner des indications de performance d'étanchéité en fonction de ces paramètres.

Le traitement des joints concerne l'interface entre les panneaux CLT ainsi que leurs interfaces avec les autres ouvrages. Sont généralement utilisés les procédés suivants :

- bande adhésive ;
- mousse imprégnée selon la norme NF P 85-570 ;
- mastics extrudables conformes à la norme NF EN ISO 11600.



Dans tous les cas, la conception des assemblages et des points singuliers d'un bâtiment doit tenir compte du dispositif d'étanchéité à l'air choisi. Il est important que le plan de pose des structures intègre cette problématique en prescrivant la mise en œuvre de tel ou tel dispositif, et tout spécialement si certains joints doivent être réalisés en cours de montage car ils deviennent inaccessibles par la suite.

6.4.5.1. • *Bande adhésive*

La mise en œuvre de bandes adhésives aux jonctions est réalisée postmontage, lors d'une phase qui est en général spécifiquement dédiée par l'entreprise à la réalisation de l'étanchéité à l'air. Il existe plusieurs types de bande selon les supports, notamment pour la jonction bois-béton (où l'application d'un primaire peut être nécessaire).

Avantage : ce dispositif permet un contrôle visuel du travail effectué.

Inconvénient : la pose de la bande peut être gênée par des assembleurs type équerre.

6.4.5.2. • *Mousse imprégnée*

La mise en œuvre des mousses imprégnées se fait dans l'épaisseur des jonctions, donc en phase de levage. Il est alors souhaitable de confier cette tâche à un membre de l'équipe de montage.

Ces matériaux possèdent des plages d'efficacité variable selon l'épaisseur du joint, il conviendra alors de choisir le bon composant.

Avantage : la pose en cours de montage fait gagner du temps sur le global du chantier.

Inconvénient : pas de contrôle visuel possible.

6.4.5.3. • *Mastic extrudable*

Comme précédemment, la mise en œuvre des mastics extrudables est réalisée en cours de montage. Le choix du type de joint est à adapter en fonction du support.

Avantage : économique et rapide.

Inconvénient : pas de contrôle visuel possible.

6.5. • Typologie des assemblages

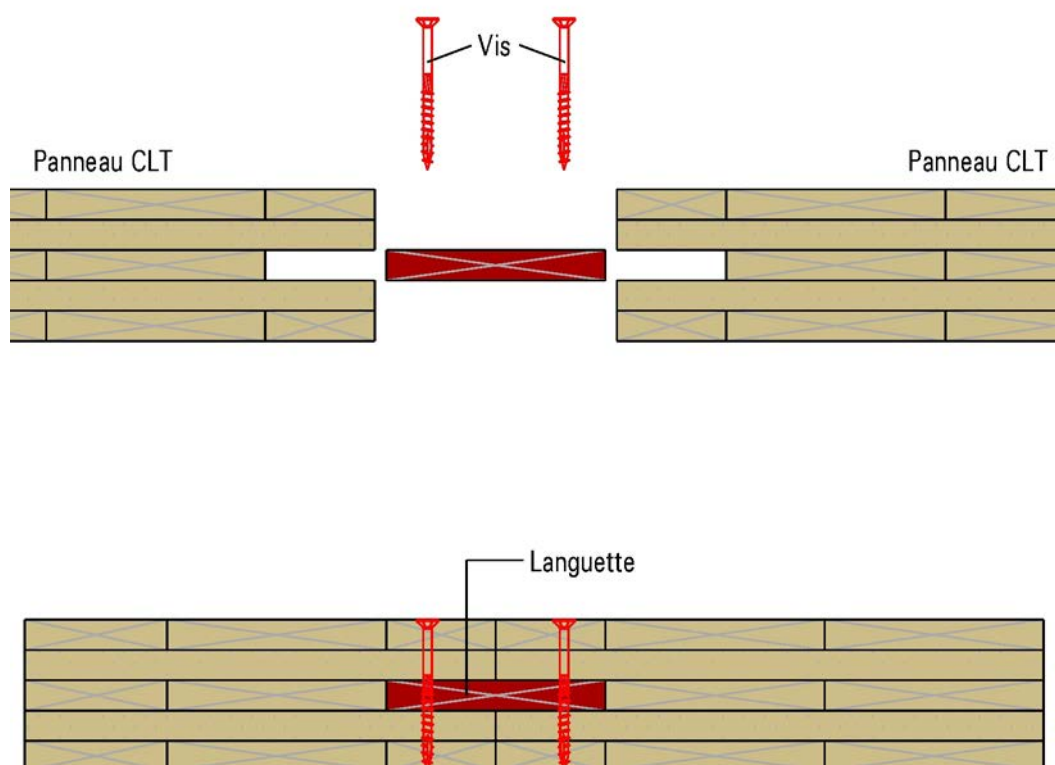
6.5.1. • Assemblages bois-bois ou bois-panneaux

6.5.1.1. • Assemblages des panneaux dans un même plan

Ces assemblages sont couramment utilisés pour la réalisation des jonctions entre panneaux de mur et de plancher sur chantier.

Double cisaillement

Cet assemblage est réalisé au moyen d'une languette en contreplaqué, panneau 3 plis structurel ou en bois lamifié (LVL) insérée dans une rainure réalisée dans les panneaux en atelier. Cette languette est ensuite vissée. L'avantage est que les vis travaillent en double cisaillement, ce qui confère à l'assemblage une résistance plus élevée. Cependant, il exige un rainurage précis pour une bonne mise en œuvre sur chantier.

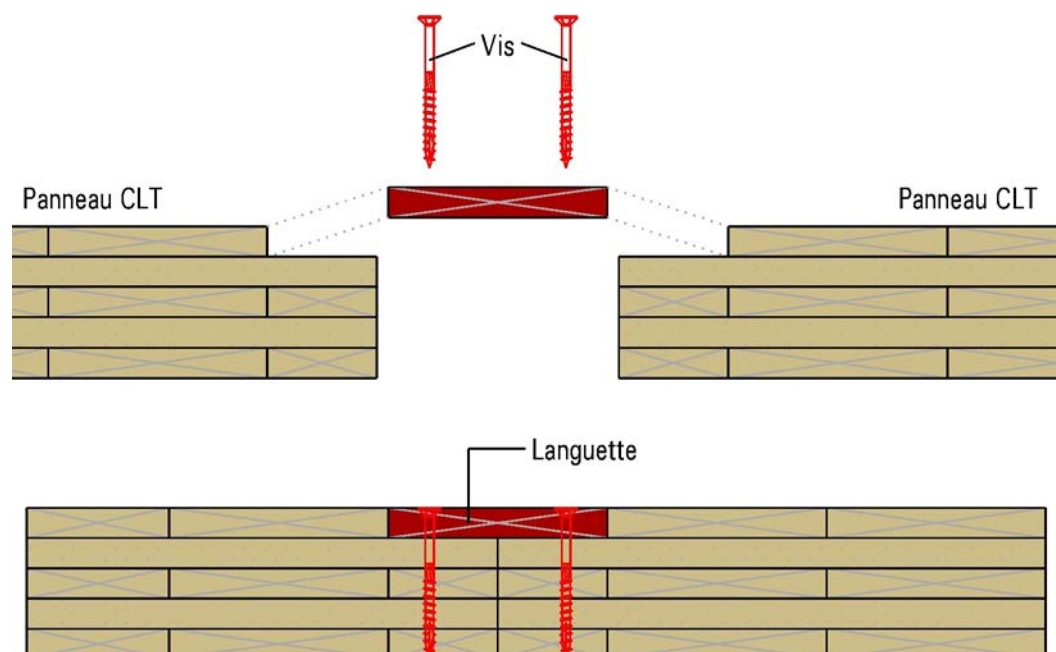


▲ Figure 67 : Double cisaillement

Simple cisaillement

Cet assemblage est réalisé au moyen d'une languette en contreplaqué ou en LVL vissée dans une feuillure réalisée en atelier sur une face des

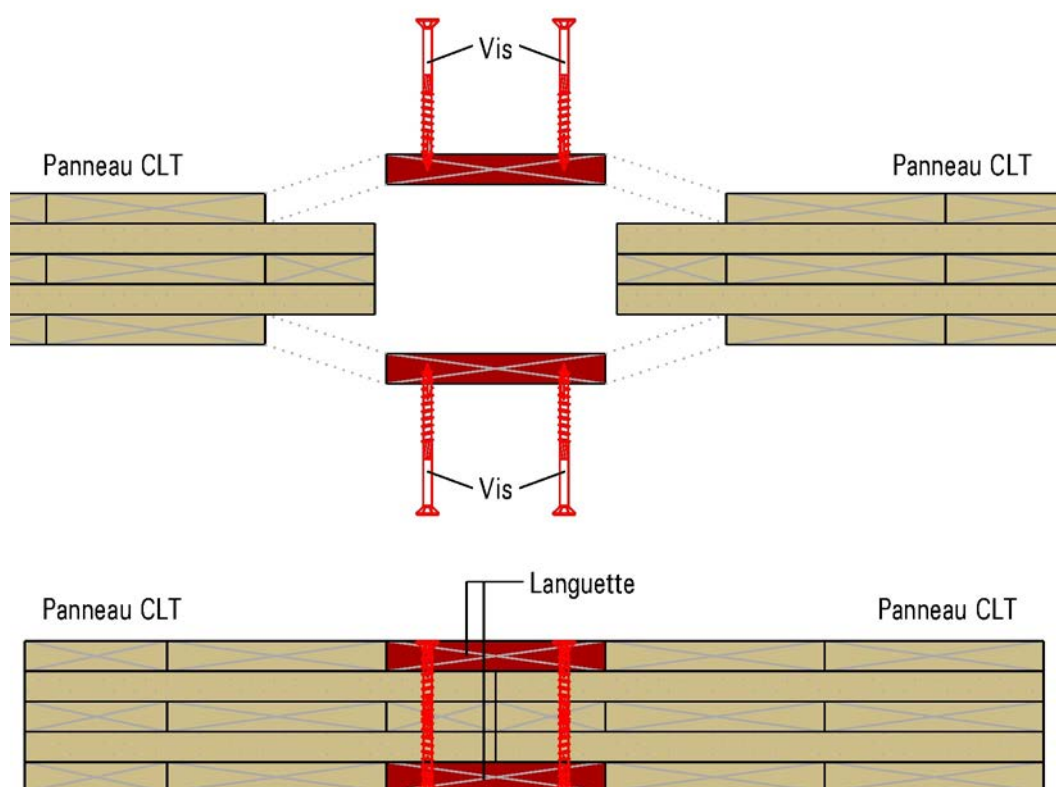
panneaux. Il est plus simple à mettre en œuvre que le précédent, mais il est moins résistant car les vis travaillent en simple cisaillement.



▲ Figure 68 : Simple cisaillement

Deux simples cisaillements

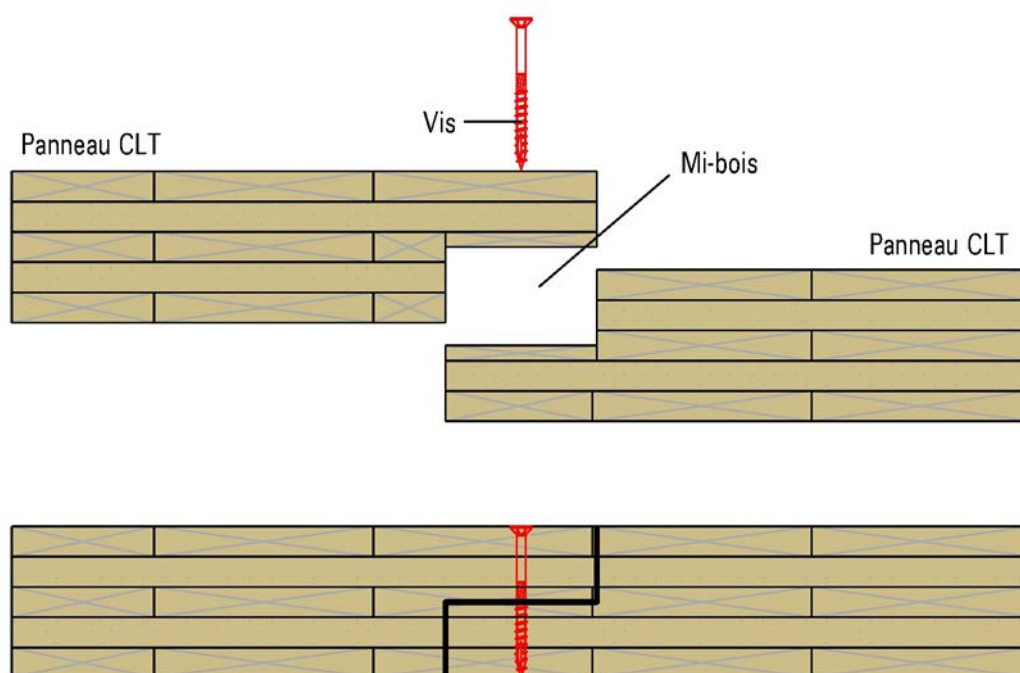
Cet assemblage est réalisé au moyen de deux languettes en contre-plaqué ou en LVL vissées symétriquement sur les deux faces des panneaux dans lesquels des feuillures ont été réalisées en atelier. Cette connexion est plus résistante que la précédente, mais exige deux fois plus de temps d'usinage et de mise en œuvre.



▲ Figure 69 : Deux simples cisaillements

Joint à mi-bois

Cette méthode relativement simple à mettre œuvre permet l'assemblage rapide des panneaux. En revanche, il y a un risque de fendage du fait de la traction transversale induite. Les assemblages par joints à mi-bois ne sont admis en plancher que moyennant une justification et une attention particulières.



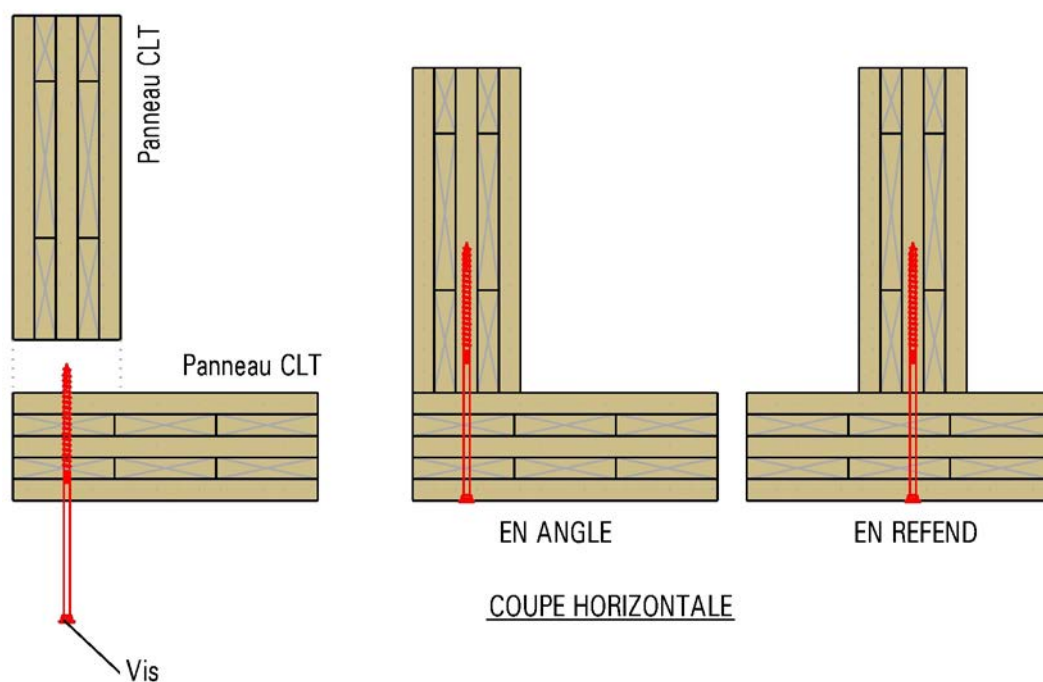
▲ Figure 70 : Mi-bois

6.5.1.2. • Assemblages d'angles de mur, de murs-planchers et de murs-toitures

Vis à champ¹

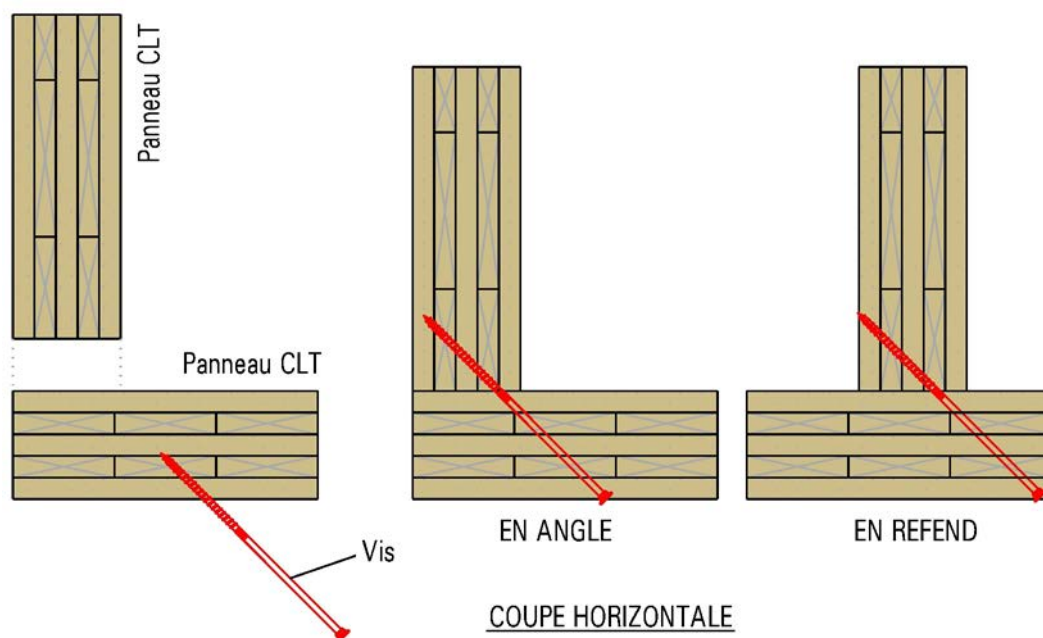
Pour la réalisation d'un assemblage d'angle extérieur, par exemple, une méthode simple est la mise en œuvre de vis depuis l'extérieur. L'inconvénient est que les tiges sont vissées à champ et, dans certains cas, en bois de bout. La résistance de ces assemblages est relativement faible.

■ 1 Pour des raisons de robustesse, il est possible d'utiliser ce type d'assemblage pour le positionnement du mur, puis des vis avec un angle de 5° environ.



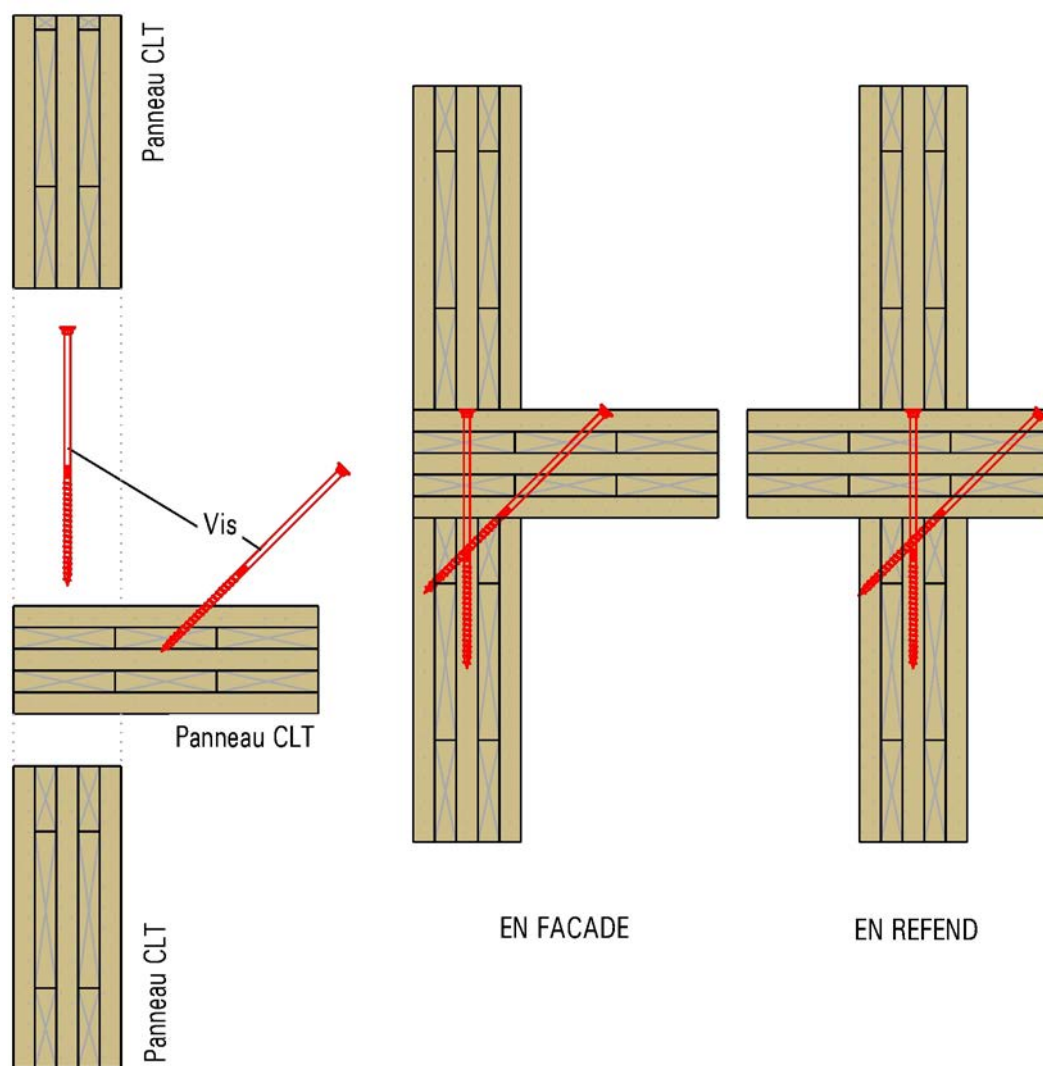
▲ Figure 71 : Vis à champ

Une solution à la méthode précédente est de mettre en œuvre les vis lardées depuis l'intérieur. Ainsi, l'angle qu'elles forment avec le plan du panneau confère une résistance supérieure à l'assemblage.



▲ Figure 72 : Vis lardées pour l'assemblage d'un angle de mur

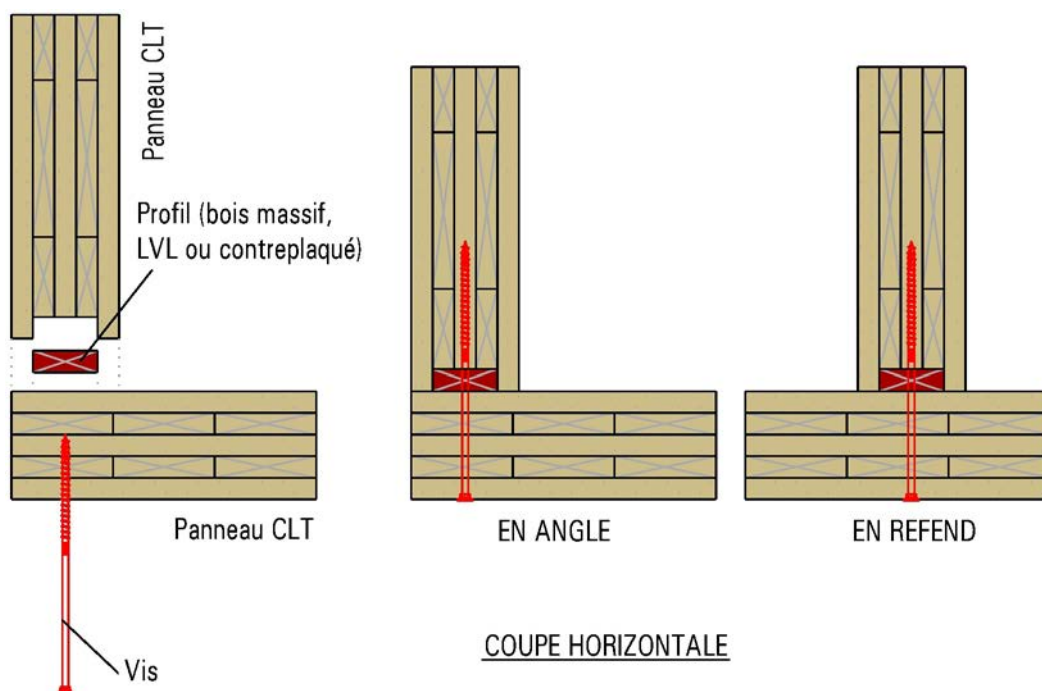
Cette méthode permet également de réaliser des assemblages mur-plancher.



▲ Figure 73 : Vis lardées pour l'assemblage d'un mur avec un plancher

Vis et clés associées

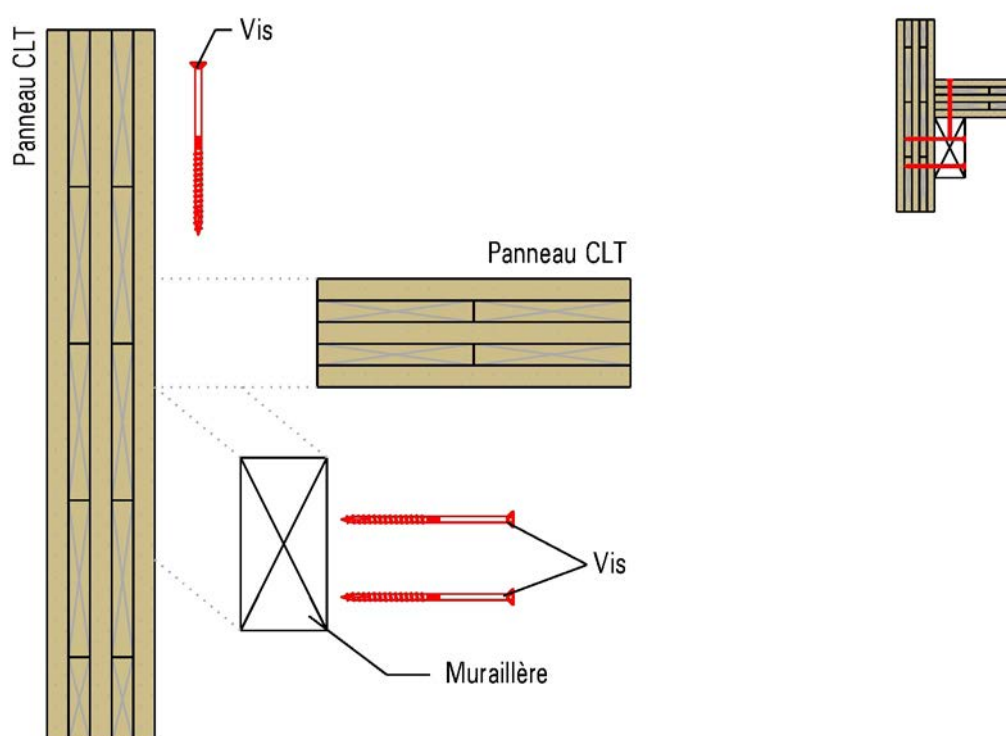
Cette méthode est également une bonne alternative au vissage par bout. Une clé en bois massif, LVL ou contreplaqué est vissée sur le panneau transversal avant d'assembler les éléments par un vissage à champ. La résistance de l'assemblage est plus élevée.



▲ Figure 74 : Vis et clés

Muralières vissées

L'assemblage mur-plancher peut également être réalisé au moyen de muralières, en bois massif, par exemple, vissées sur les panneaux. Cette méthode a l'avantage d'être relativement simple à mettre en œuvre. Sa résistance est plutôt limitée, car l'assemblage travaille en simple cisaillement bois-bois.



▲ Figure 75 : Ligneuls vissés

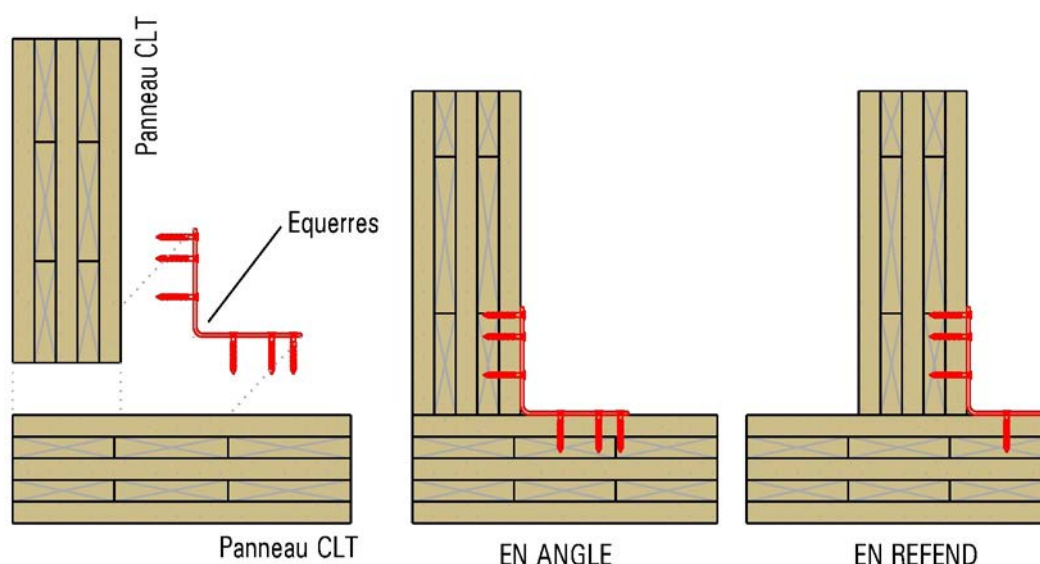
6.5.2. • Assemblages bois-métal

Ces assemblages peuvent être réalisés au moyen d'éléments du commerce ou de ferrures mécanosoudées.

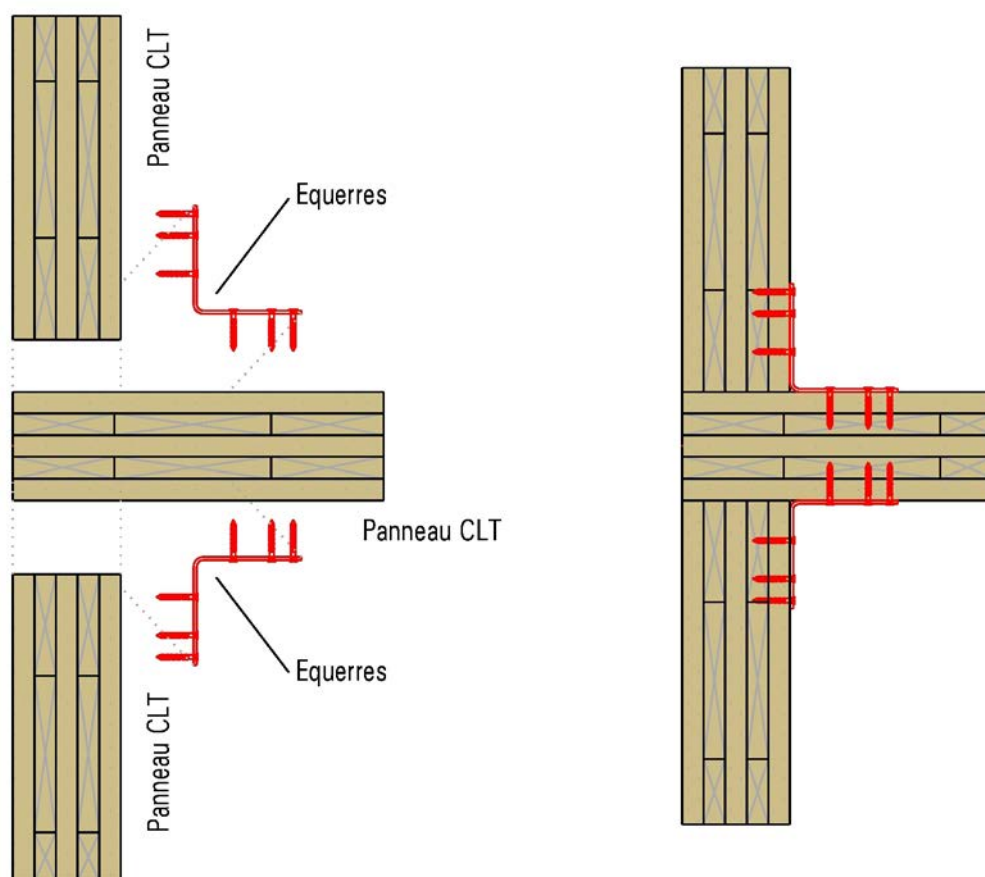
Équerres métalliques vissées ou pointées

Les connexions de ce type, utilisées pour réaliser des assemblages murs-murs, murs-planchers ou encore murs-fondations, sont très simples à mettre en œuvre et présentent une bonne reprise de charges. Les tiges travaillent en simple cisaillement bois-métal. L'inconvénient est que les équerres sont apparentes et, par conséquent, sont moins résistantes en situation d'incendie.

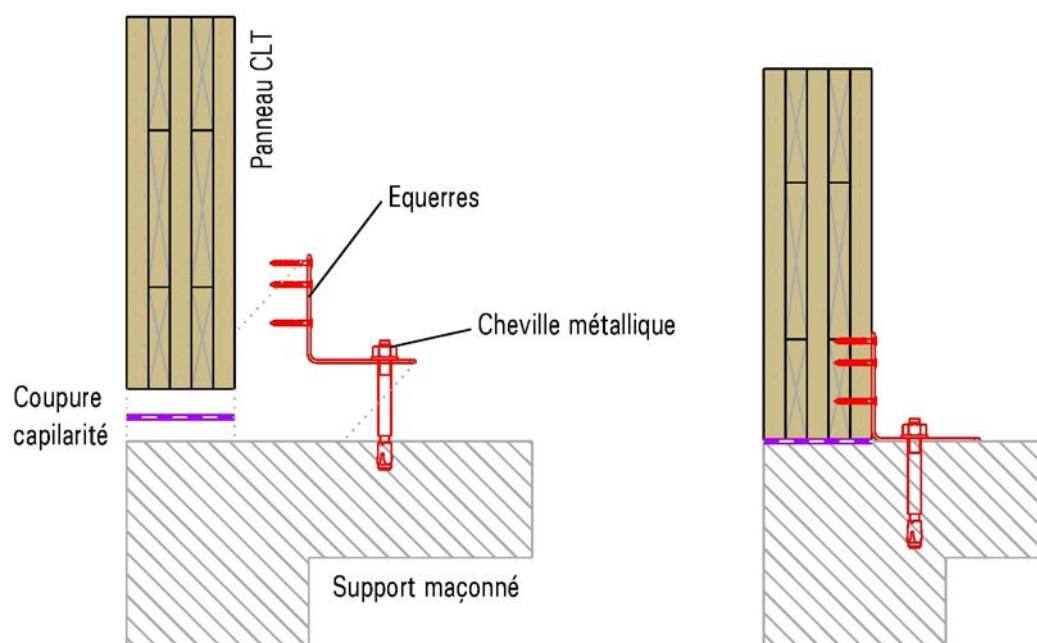
Un usinage peut cependant être réalisé afin d'éviter une surépaisseur et protéger la ferrure par un élément rapporté en bois.



▲ Figure 76 : Équerres métalliques en angle de mur



▲ Figure 77 : Équerres métalliques pour assemblage mur-plancher

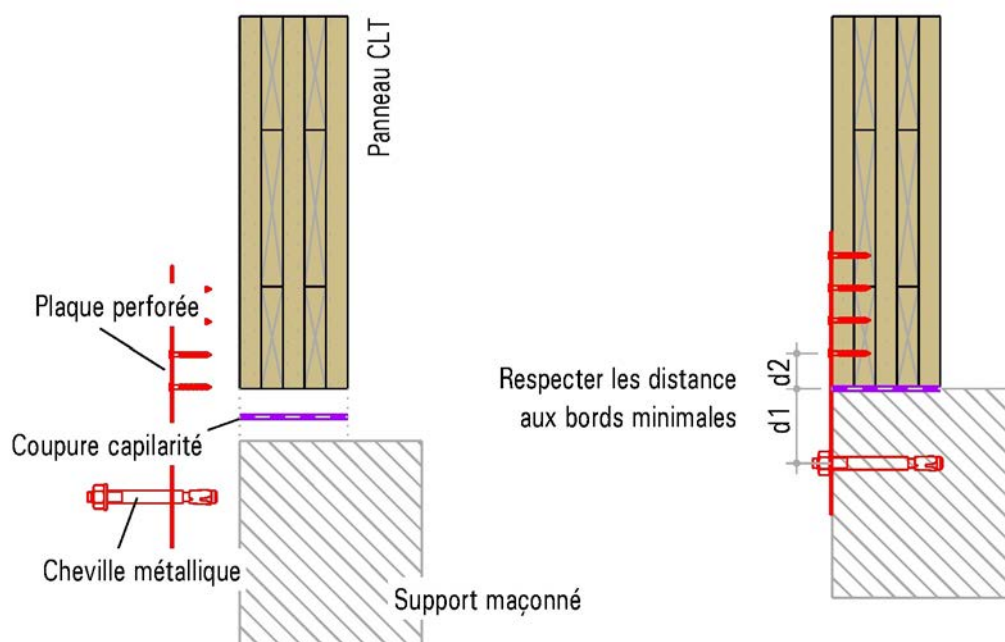


▲ Figure 78 : Équerres métalliques pour assemblage mur-fondations

Dans le cas d'un assemblage sur un élément béton, une bande de désolidarisation doit être mise en place entre celui-ci et le panneau.

Plats vissés ou pointés

Cette méthode peut être utilisée pour la réalisation d'un ancrage sur un élément béton ou pour le renfort d'ensemble mur-plancher. Elle est très simple à mettre en œuvre.

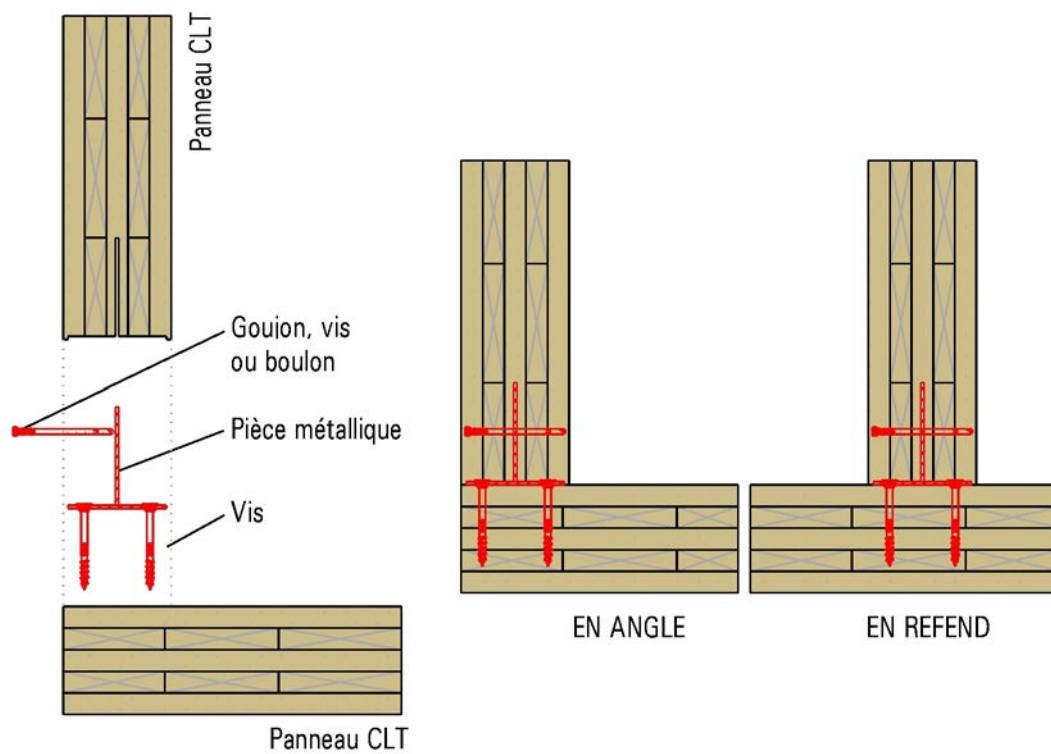


▲ Figure 79 : Plats métalliques

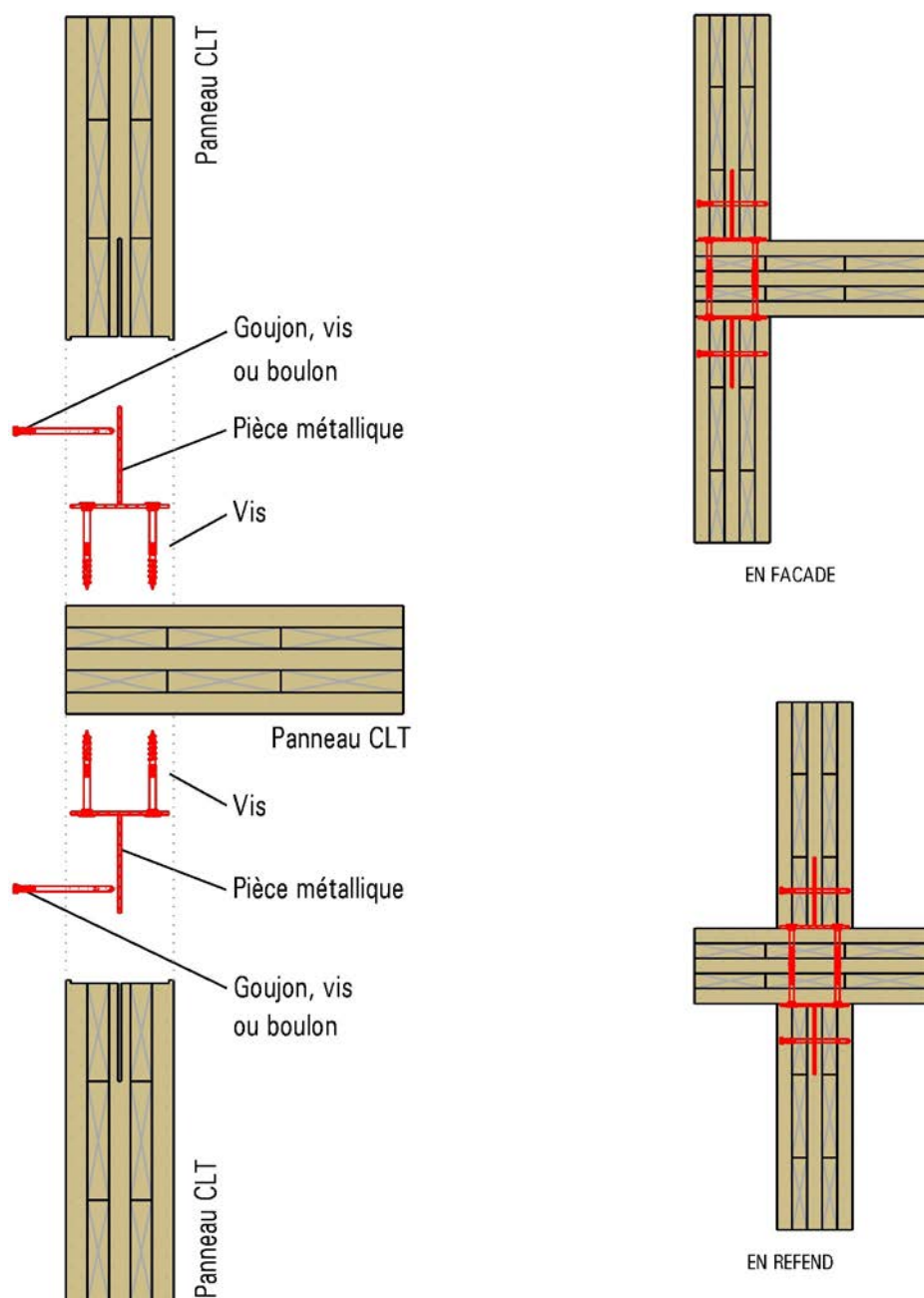
Plaques en âme

Des plaques métalliques en âme peuvent également être utilisées pour réaliser des connexions mur-mur, mur-plancher ou mur/fondations. Ce principe présente des capacités de reprise de charges supérieures au simple cisaillement bois-métal. De plus, en situation d'incendie, les éléments métalliques sont protégés par le bois.

Un des inconvénients est qu'un usinage précis doit être réalisé en atelier, ce qui laisse, notamment, moins de marge manœuvre à la mise en œuvre.



▲ Figure 80 : Plaque métallique en âme en angle de mur



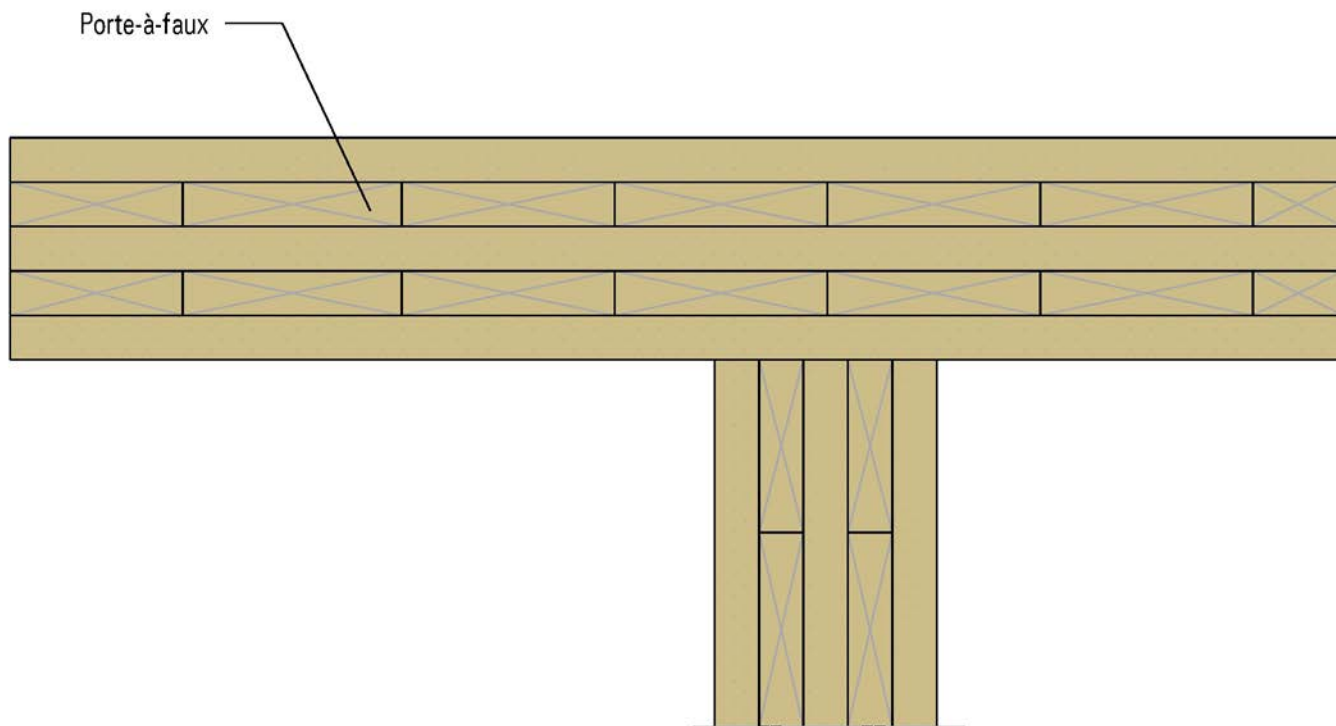
▲ Figure 81 : Plaque métallique en âme mur-plancher

6.6. • Dispositions constructives de points singuliers

L'objectif de ce paragraphe est de proposer des détails de conception et de réalisation au niveau de quelques points singuliers non déjà traités dans les Avis Techniques. Si nécessaire, les points critiques pour la solidité et la pérennité de la partie d'ouvrage considérée sont mis en évidence.

6.6.1. • Porte-à-faux

Dans le cas d'éléments en porte-à-faux, dans le prolongement des panneaux de plancher, par exemple, les planches des couches extérieures des panneaux de plancher seront dans le sens du porte-à-faux.



▲ Figure 82 : Porte-à-faux

6.6.2. • Garde-corps

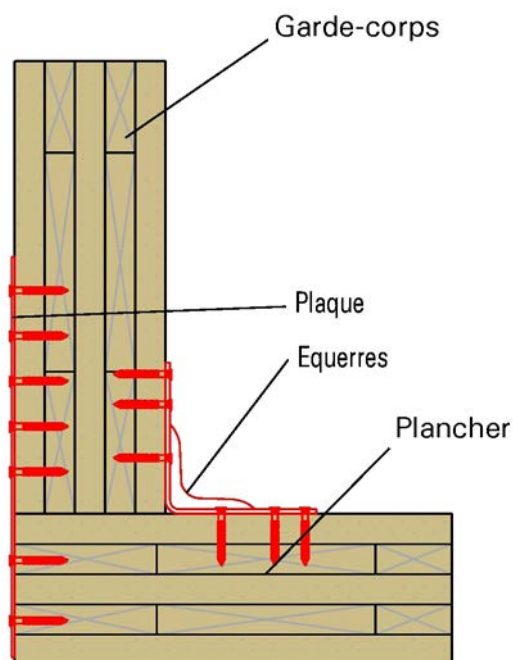
Les garde-corps devront être conçus et réalisés de manière à satisfaire aux exigences des normes suivantes :

- NF P01-012 : Dimensions des garde-corps – Règles de sécurité relatives aux dimensions des garde-corps et rampes d'escalier ;
- NF P01-013 : Essais des garde-corps – Méthodes et critères.

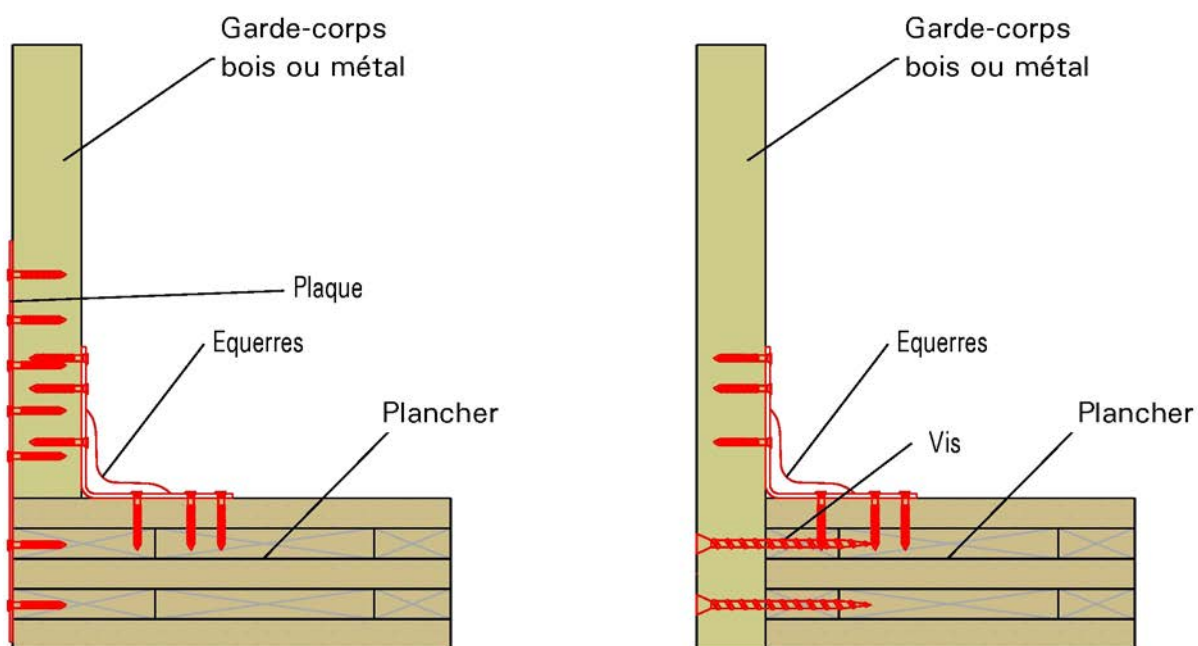
Les charges à appliquer sur les garde-corps sont précisées dans la NF EN 1991-1-1 et son annexe nationale.

En outre, dans le cas de garde-corps pleins réalisés au moyen de panneaux CLT, leur hauteur de protection minimale depuis le sol fini sera de 1 m pour une épaisseur inférieure à 20 cm.

La NF P01-013 précise notamment que des essais statiques doivent être réalisés pour les garde-corps qui ne sont pas justifiés par le calcul ou que l'on ne sait pas justifier par le calcul. Des essais dynamiques doivent être effectués, pour tous les garde-corps, si le système d'assemblage du remplissage ou du barreaudage n'est pas éprouvé par des essais ou des références antérieures.



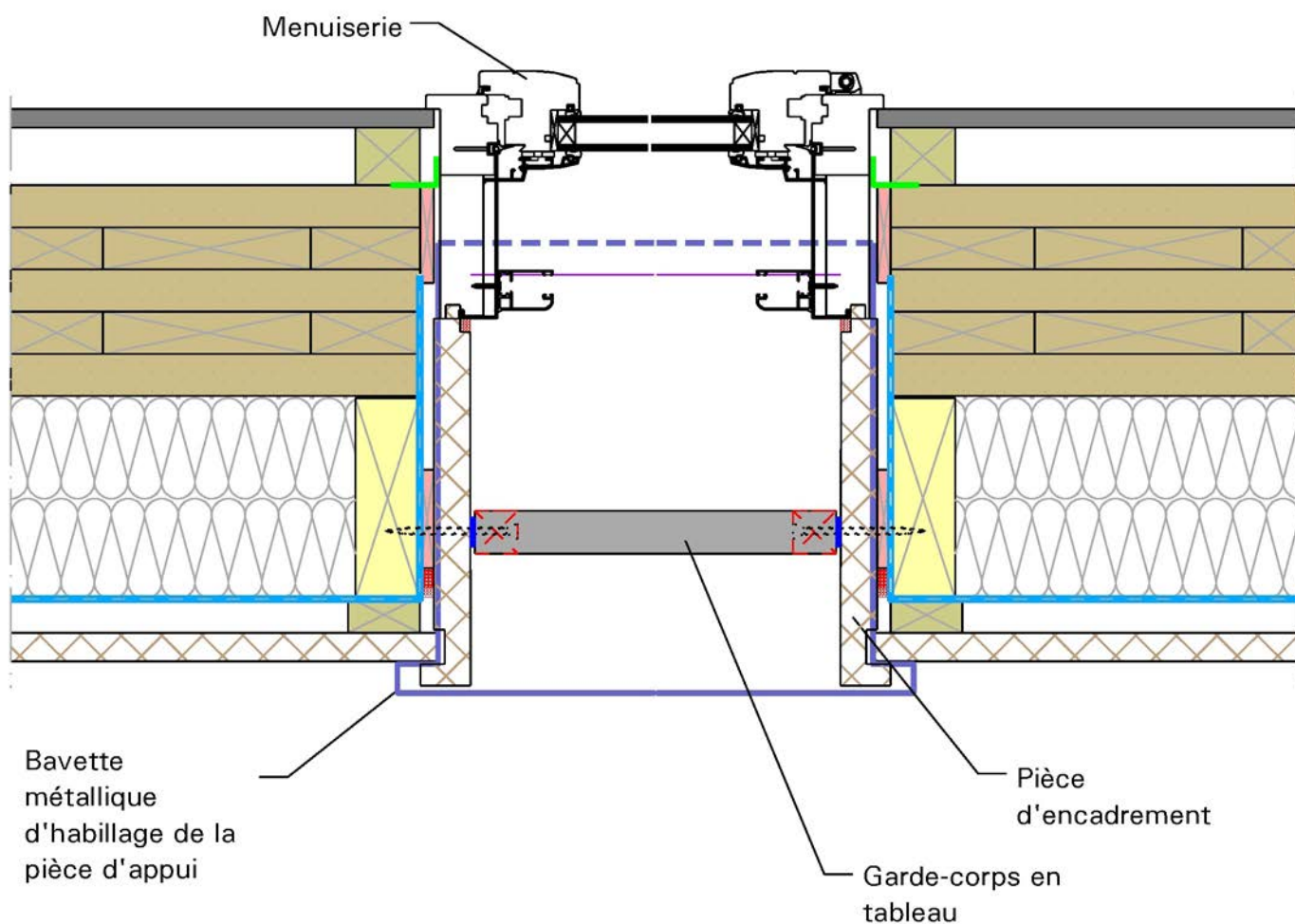
▲ Figure 83 : Garde-corps en panneaux CLT



▲ Figure 84 : Garde-corps en bois ou métallique

Remarque

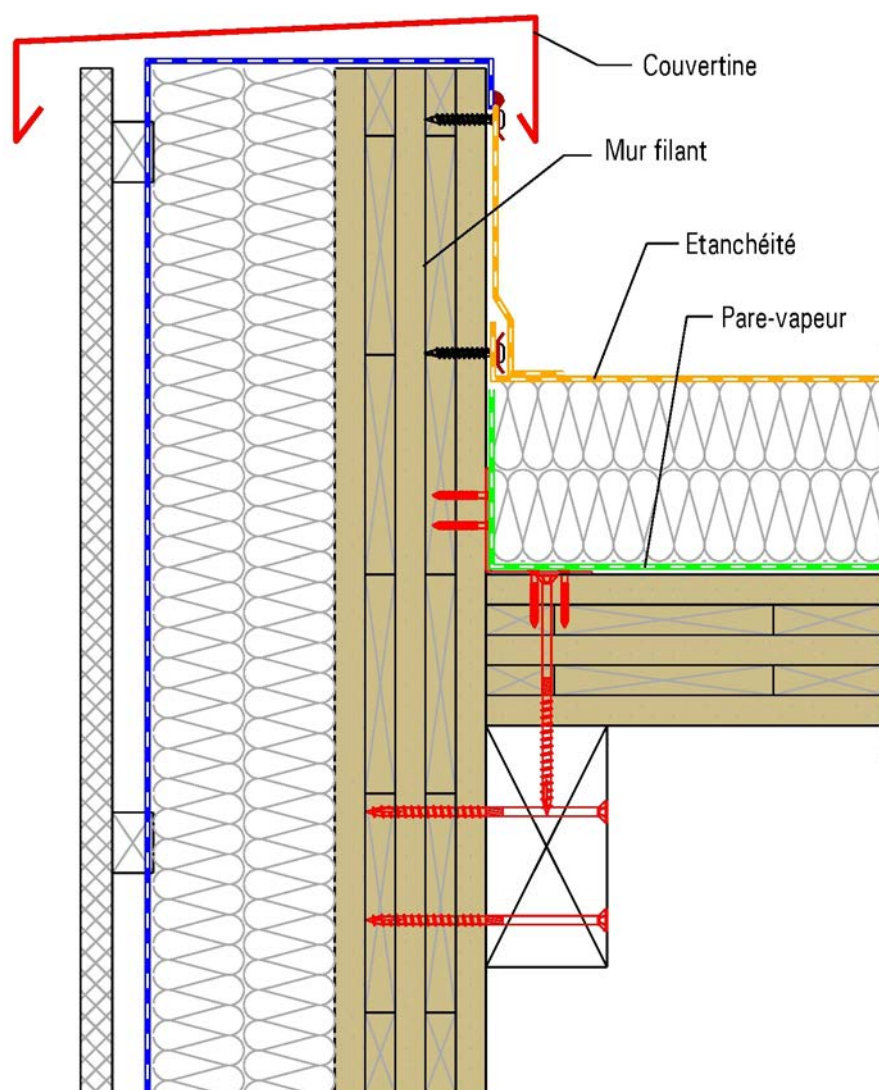
Une attention particulière doit être portée sur la durabilité des éléments exposés aux intempéries.



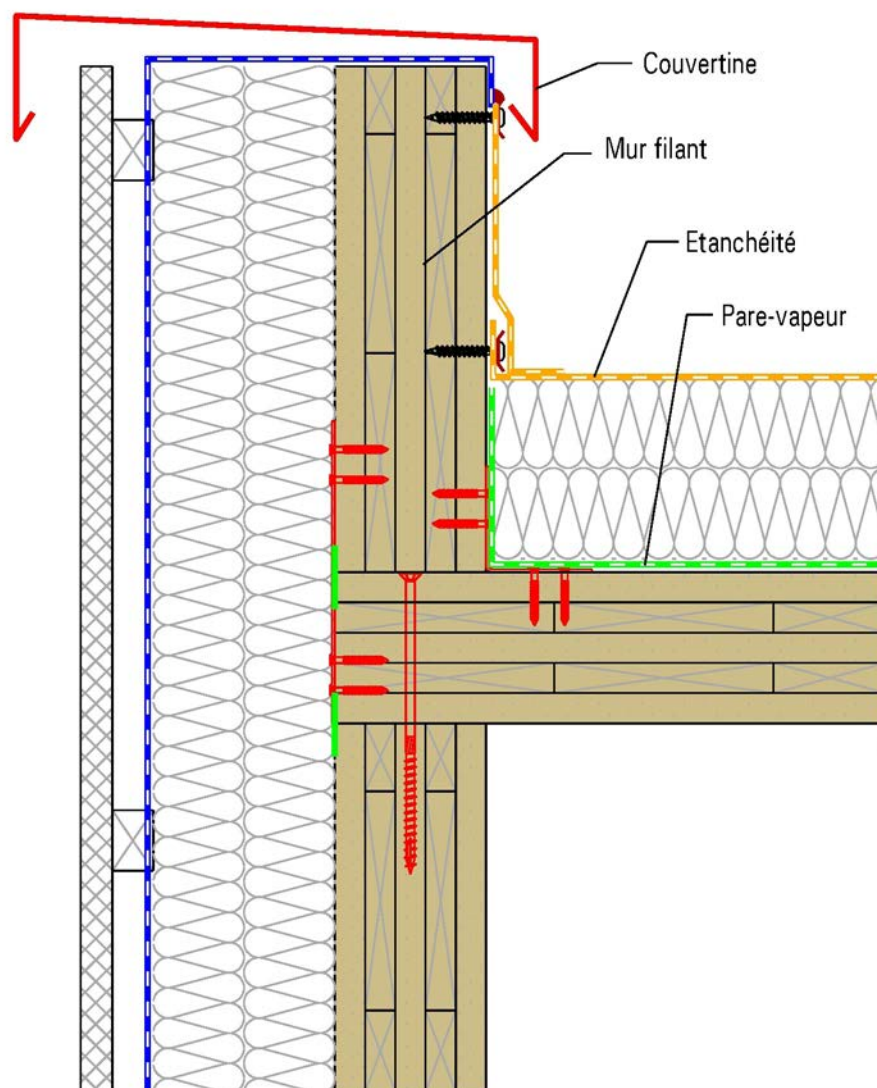
▲ Figure 85 : Garde-corps en tableau

6.6.3. • Acrotères

Il existe deux solutions principales pour la réalisation des acrotères. La première consiste à faire filer le mur sur lequel vient s'accrocher le plancher haut. Ce mur fait alors office d'acrotère. La seconde vise à mettre en place un élément rapporté sur le plancher haut reposant sur le mur et fixé de manière appropriée.



▲ Figure 86 : Acrotère par mur filant



▲ Figure 87 : Acrotère par élément rapporté

6.7. • *Intégration des menuiseries*

6.7.1. • Introduction

Ce guide traite de l'intégration des menuiseries dans des parois en panneaux CLT, sur l'enveloppe extérieure uniquement, dans les murs et les toitures. Son objectif est de proposer des bonnes pratiques de conception et de mise en œuvre afin de maintenir les performances, notamment en termes d'étanchéité à l'air et à l'eau, de la paroi en partie courante au niveau du point singulier que constitue l'interface paroi-menuiserie.

Les configurations pour lesquelles les détails sont donnés sont les suivantes :

- configuration étanchéité 1 (E1) : étanchéité, isolation extérieure ;
- configuration étanchéité 2 (E2) : étanchéité, isolation extérieure, faux plafond ;

- configuration couverture 1 (C1) : couverture selon DTU 40.X, isolation extérieure ;
- configuration couverture 2 (C2) : couverture selon DTU 40.X, isolation extérieure, membrure ;
- configuration couverture 3 (C3) : couverture selon DTU 40.X, isolation intérieure, faux plafond ;
- configuration mur extérieur 1 (ME1) : bardage, isolant extérieur avec ou sans parement intérieur ;
- configuration mur extérieur 2 (ME2) : bardage, isolant extérieur, isolant intérieur, revêtement intérieur ;
- configuration mur extérieur 3 (ME3) : bardage ventilé, isolant intérieur, revêtement intérieur.

Remarque

Les détails proposés doivent être validés et peuvent être modifiés en fonction des dimensions définitives des éléments constitutifs des parois et des résultats de l'étude hygrothermique.

Pour les configurations étanchéité, deux coupes verticales sont présentées. Sur les configurations couverture, une coupe verticale et une coupe perpendiculaire au versant sont données par configuration. Quant aux murs extérieurs, six coupes sont proposées par configuration :

- coupe verticale sur fenêtre avec volet roulant ;
- coupe horizontale sur fenêtre avec volet roulant ;
- coupe verticale sur fenêtre avec volet battant ;
- coupe horizontale sur fenêtre avec volet battant ;
- coupe verticale sur porte-fenêtre avec volet roulant ;
- coupe verticale sur porte-fenêtre avec volet battant.

6.7.2. • Carnet de détails

Pour le carnet de détails, se référer à l'[Annexe 2].

6.8. • Couverture

6.8.1. • Généralités

Les planchers réalisés en panneaux CLT peuvent servir :

- de supports de couvertures planes, inaccessibles, planes et ventilées, en respectant les pentes minimales définies par les DTU et les DTA des procédés de couverture concernés ;

- ou de supports plans d'étanchéité présentant une pente minimale de 3 %, pour les destinations suivantes :
 - terrasses et toitures inclinées inaccessibles, avec chemins de circulation éventuels, sans terrasse à rétention temporaire des eaux pluviales ;
 - toitures inaccessibles avec procédés d'étanchéité photovoltaïques avec modules souples bénéficiant d'un Avis Technique ;
 - toitures techniques ou à zones techniques ;
 - terrasses et toitures végétalisées ;

Ils sont utilisables :

- sur tous les types de construction^(2), tels que :
 - les bâtiments d'habitation relevant de l'arrêté du 31 janvier 1986 modifié ;
 - les bâtiments relevant du Code du travail dont le plancher bas du dernier niveau est à moins ou à plus de 8 m du sol extérieur ;
 - les établissements recevant du public (ERP) ;
- au-dessus des locaux classés à faible ou moyenne hygrométrie ;
- en climat de plaine et de montagne.

Les déformations prises par les toitures avec panneaux CLT sont définies de la manière suivante :

- les flèches sont calculées en tenant compte du fluage au travers du facteur de déformation k_{def} défini dans la norme NF EN 1995-1-1 ;
- le fléchissement final w_{fin} dû à toutes les charges est limité conventionnellement à 1/250^e de la portée ;
- et, selon le NF DTU 43.4, il sera pris en compte une flèche limite instantanée de 1/400^e sous charge totale.

6.8.2. • Isolation par l'intérieur

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

- parement intérieur ;
- pare-vapeur ;
- isolant ;

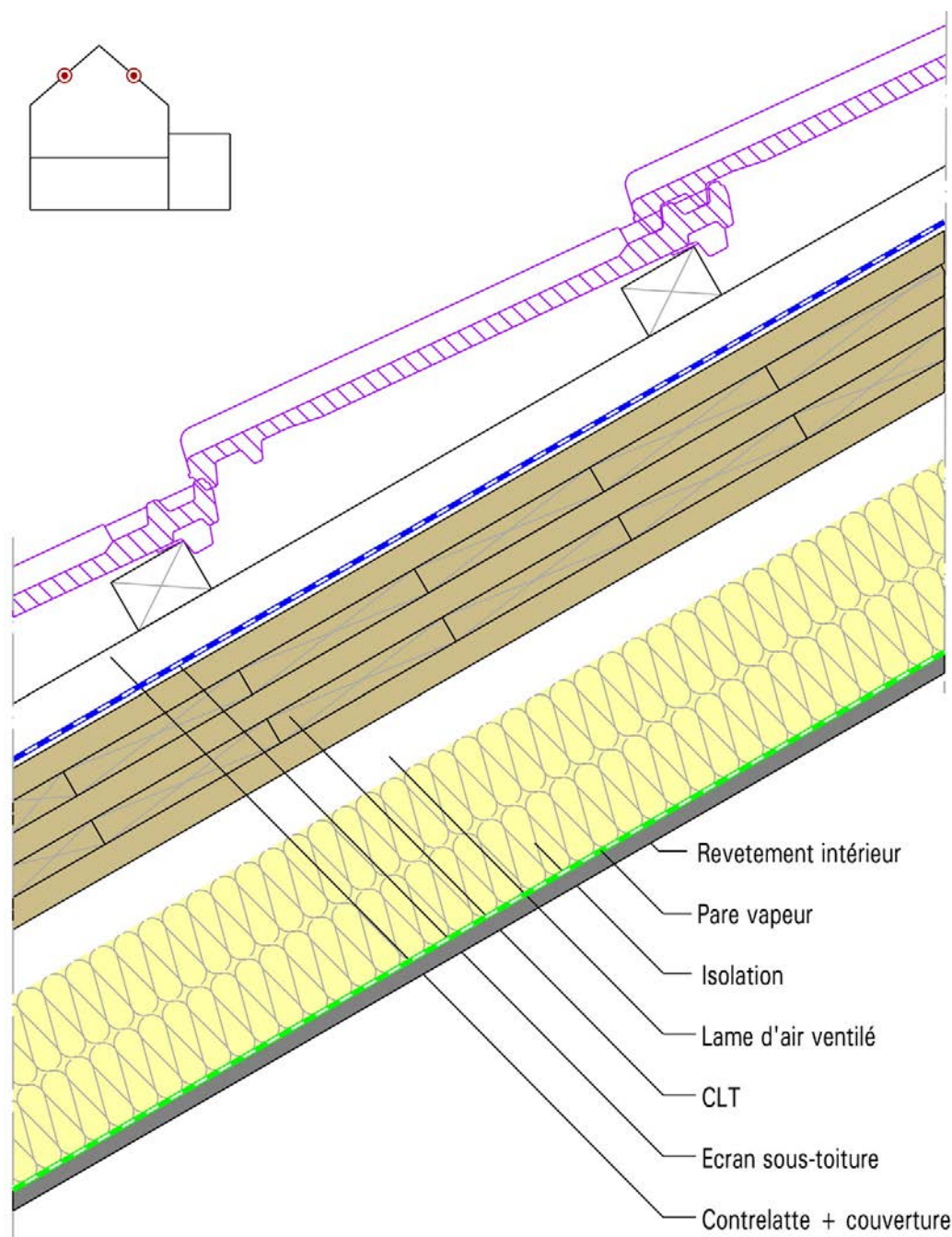
■ 2 L'emploi des panneaux CLT comme écran de protection d'isolants n'est pas pris en compte dans les dispositions décrites dans les guides suivants :

- Guide d'emploi des isolants combustibles dans les établissements recevant du public modifié par l'arrêté du 24 septembre 2009, pris en application de l'arrêté du 6 octobre 2004 modifié par celui du 4 juillet 2007, complété par l'avis du CECMI en date du 27 janvier 2009 ;

- Guide de l'isolation thermique par l'intérieur des bâtiments d'habitation du point de vue des risques en cas d'incendie, Cahier du CSTB n° 3231, juin 2000.

Réglementairement, les panneaux CLT doivent faire l'objet d'un avis du Comité d'étude et de classification des matériaux et éléments de construction par rapport au danger d'incendie (CECMI).

- lame d'air ventilée sur l'extérieur ;
- panneau CLT ;
- couverture et éléments porteurs associés (chevrons, liteaux, etc.) ou étanchéité.



▲ Figure 88 : Principe

6.8.2.1. • Ventilation des panneaux CLT

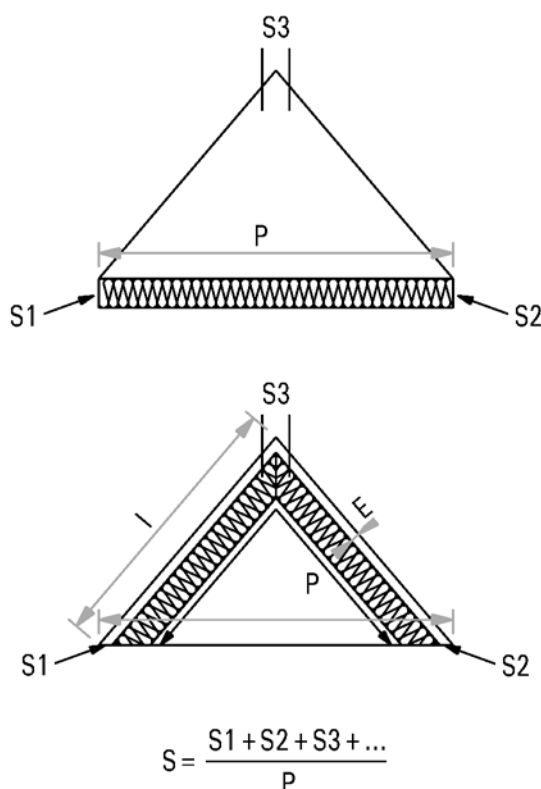
Dans tous les cas, les dispositifs appropriés doivent être prévus pour assurer une bonne ventilation sur l'air extérieur de la sous-face des panneaux CLT :

- par pièce de ventilation en partie haute et basse du versant ;

- par des entrées d'air à l'égout dans l'avant-toit, ou à l'aide du pied de versant ;
- par un faîtage ventilé assurant la sortie de l'air en haut de versant ;
- par une ou plusieurs cheminées de ventilation en haut de versant ;
- par des prises d'air en pignon, lorsque la largeur de la toiture n'excède pas 12 m (sans obstacle à la ventilation dans le comble) ;
- par la suppression de tout obstacle à la ventilation dans le comble.

La section totale des ouvertures d'entrée et de sortie de l'air, définie à la (Figure 89), doit être au moins égale aux sections indiquées au (Tableau 37).

Les règles d'utilisation portent sur la section S totale des orifices de ventilation (entrée + sortie d'air) et sur l'épaisseur E de la lame d'air.



COUPES DE TOITURE SUR COMBLES PERDUS OU AMENAGES

S : surface totale des orifices de ventilation, rapportée à la surface développée de l'isolation

E : épaisseur minimale de lame d'air

L : longueur du rampant

P : surface développée de l'isolation

▲ Figure 89 : Définitions

▲ Tableau 37 : Détermination de la surface utile de ventilation de la lame d'air et de son épaisseur

Caractéristiques du bâtiment						
	Classes d'hygrothermie du local sous-jacent					
	Faible W/h ≤ 2,5 g/m²		Moyenne 2,5 < W/n ≤ 5 g/m²		Forte 5 < W/n ≤ 7,5 g/m²	
	Perméance du plafond π/e en g/m².h.mm Hg (Annexe C DTU 43.4 P1-1)					
	π/e ≤ 0,02	0,02 < π/e	π/e ≤ 0,02	0,02 < π/e	π/e ≤ 0,02	0,02 < π/e
S	1/2 500	1/500	1/1 200	1/250	1/1 000	Non visé
E fonction de l	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm	6 cm
≤ 10 m						
≤ 15 m				10 cm		
Nota : l'annexe C donne quelques indications utiles au calcul de perméance de la paroi plafond.						

Les ouvertures de ventilation doivent être régulièrement réparties aux parties basses et hautes de la couverture lorsque la longueur des rampants n'excède pas 15 m, ou encore placées en pignons quand ceux-ci ne sont pas distants de plus de 15 m ; dans le cas de rampants de longueur supérieure à 15 m, les ouvertures doivent être réparties suivant des lignes distantes de 15 m au maximum.

Les orifices de ventilation dont la largeur dépasse 15 mm ne créent pas de perte de charge trop sensible.

On s'efforcera de leur donner la forme la moins élancée possible.

6.8.2.2. • Mise en œuvre des couvertures

En climat de plaine, les panneaux CLT peuvent être associés :

- aux différents types de couverture sur liteaux :
 - ardoises naturelles (DTU 40.11) ;
 - ardoises en fibres-ciment (DTU 40.13) ;
 - tuiles en terre cuite à emboîtement et à glissement (DTU 40.21) ;
 - tuiles en terre cuite à emboîtement à pureau plat (DTU 40.211) ;
 - tuiles canal en terre cuite (DTU 40.22) ;
 - tuiles plates en terre cuite (DTU 40.23) ;
 - tuiles en béton à glissement et à emboîtement longitudinal (DTU 40.24) ;
 - tuiles planes en béton à glissement et à emboîtement longitudinal (DTU 40.241) ;
 - tuiles plates en béton (DTU 40.25) ;
- aux différents types de couverture sur voligeage jointif ou sur panneaux supports conformes aux DTU en vigueur :
 - bardeaux bitumés (DTU 40.14) ;
 - tuiles canal en terre cuite (DTU 40.22) ;



- grands éléments en feuilles et longues feuilles de zinc, d'acier inoxydable étamé, de cuivre ou de plomb (DTU 40.4*) ;
- tôles d'acier nervurées (DTU 40.35) ;
- tôles d'aluminium nervurées (DTU 40.36) ;
- aux différents types de couvertures sur pannes :
 - tôles d'acier nervurées (DTU 40.35) ;
 - tôles d'aluminium nervurées (DTU 40.36) ;
 - plaques profilées en fibres-ciment (DTU 40.37).

Dans les cas de couverture par petits éléments, la sous-face des éléments composant la couverture doit être ventilée en créant une lame d'air continue entre les panneaux CLT et l'élément de couverture d'une épaisseur de 20 mm, de 40 mm ou de 60 mm pour des longueurs de rampant respectivement inférieures, égales ou supérieures à 12 m et couvertes d'éléments métalliques ou bardeaux bituminés.

Les couvertures sont alors posées sur des montants en bois intermédiaires (liteaux ou chevrons) supportés par les panneaux CLT.

Les procédés de couverture ne sont jamais mis en œuvre directement sur les panneaux CLT.

En climat de montagne, Il est nécessaire de réaliser une étanchéité complémentaire de sous-toiture, posée sur support continu et établie conformément aux dispositions prévues par le chapitre 2 Guide de réalisation du *Guide des couvertures en climat de montagne*. Les procédés de couverture utilisables sont limités à ceux définis par ce guide.

Toutes les fixations énumérées dans les DTU couverture précités sont compatibles avec les panneaux CLT dès lors qu'elles sont décrites pour fixation dans des pièces en bois, des panneaux en bois ou à base de bois.

Dans le cas de la fixation d'éléments en bois directement sur les panneaux CLT par pointes, la longueur minimale de la fixation sera égale à deux fois l'épaisseur de l'élément rapporté, soit, par exemple, pour les liteaux et contre-liteaux 27 x 27 mm, des pointes d'une longueur de 54 mm au minimum. L'épaisseur des panneaux CLT pourra donc se voir contrainte par l'épaisseur des éléments et des systèmes de couverture rapportés.

La fixation d'éléments rapportés sur les panneaux CLT est exécutée à l'aide de vis à bois $\varnothing$ 4 mm minimum, conformes aux normes de la série NF EN 27-14x, ou de pointes annelées ou torsadées de $\varnothing$ 2,5 mm minimum. Il ne sera pas fait usage de pointes lisses.

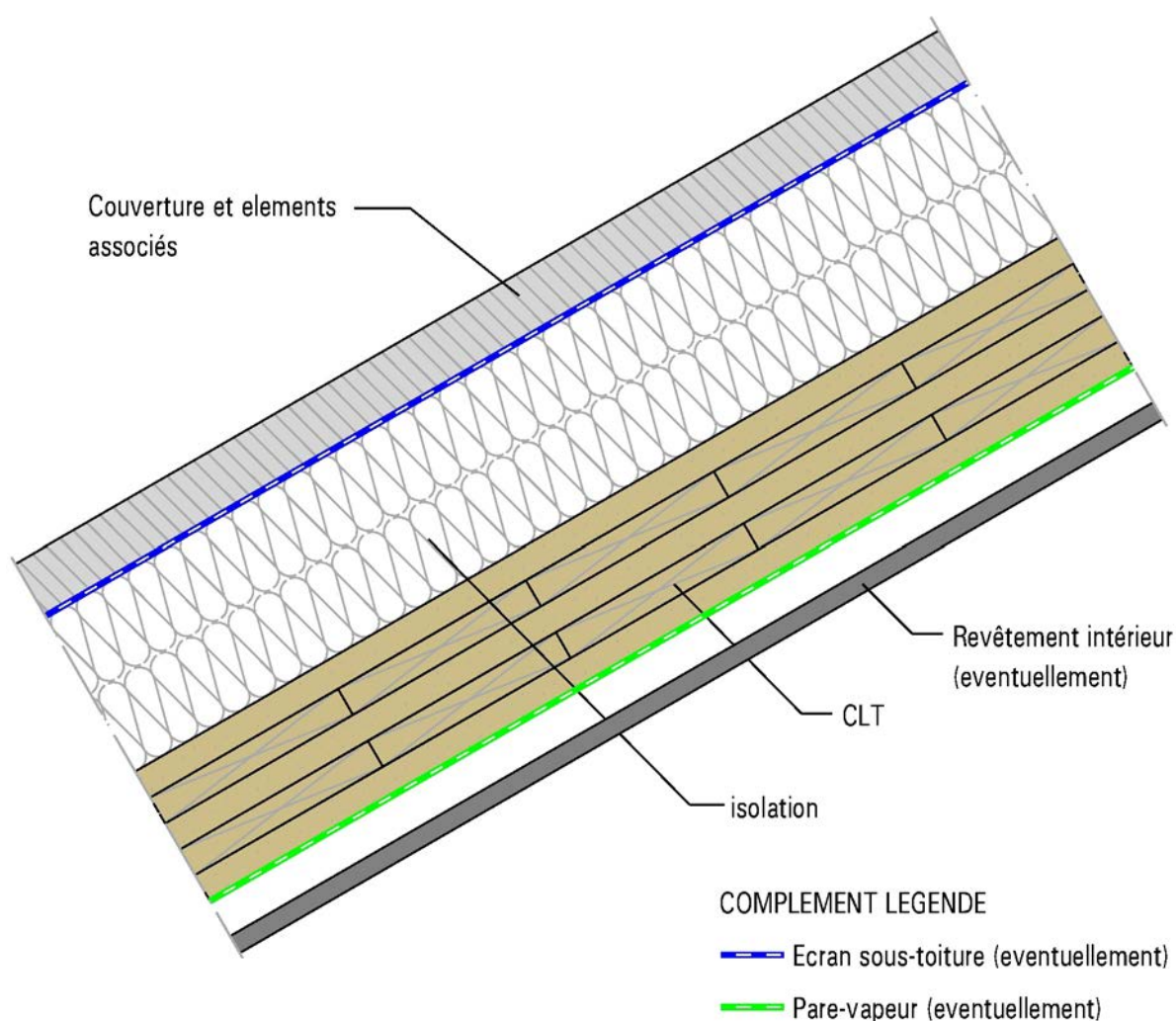
Les pointes annelées ou torsadées sont à tête plate, galvanisées à chaud ou en inox A2/A4. Pour une fixation et une profondeur d'ancrage définies, la résistance à l'arrachement P_k déterminée suivant la norme NF P 30-310 pour un support en bois massif est directement utilisable pour un support en panneaux CLT.

6.8.3. • Isolation par l'extérieur

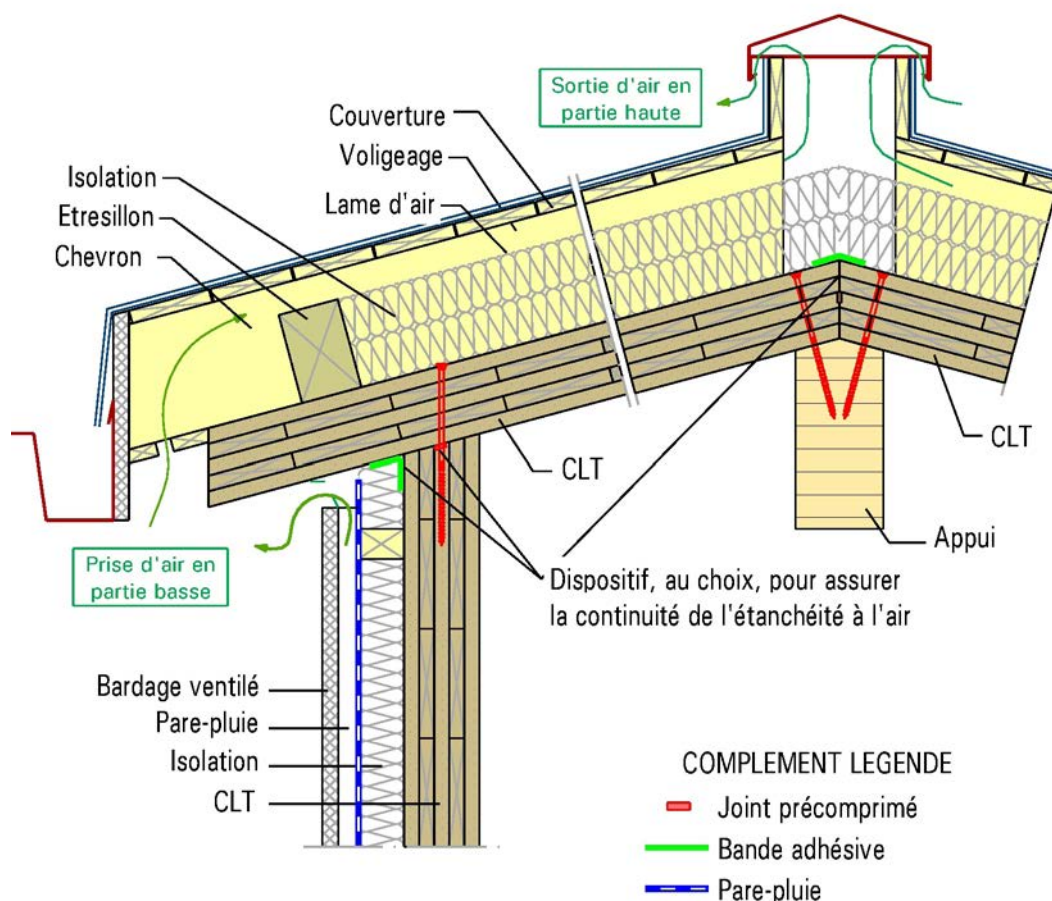
6.8.3.1. • Isolation entre montants bois support de couverture

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

- parement plafond rapporté ou non en sous face du panneau ;
- pare vapeur ;
- panneau CLT ;
- isolant ;
- lame d'air ventilée sur l'extérieur ;
- couverture et éléments porteurs associés.



▲ Figure 90 : Principe



▲ Figure 91 : Schéma de principe ventilation en sous-face de couverture

Dans ce cadre, les panneaux CLT laissés nus font office de plafond.

Préparation

La mise hors d'eau des panneaux est systématiquement exécutée au plus vite après montage.

Dans les conditions normales du chantier, la couverture sera exécutée à l'avancement. Si une exposition aux intempéries devait être envisagée, un bâchage efficace devra être assuré par l'entreprise ayant posé ces supports.

Ventilation des couvertures en toiture froide

Les éléments CLT revêtus de couverture en feuilles et longues feuilles métalliques, et en bardeaux bitumés, posés sur supports continus ventilés en sous-face, nécessitent un contre-litonnage supplémentaire sur chantier afin de respecter les espaces de ventilation prévus par les DTU relatifs à ces couvertures.

Butée en bas de pente de l'isolant

Pour les pentes de couverture supérieures à 100 %, il convient de réaliser un dispositif de butée en bas de pente.

Condition de conception et de calcul

La conception et le calcul des panneaux CLT utilisés en support de couverture doivent être vérifiés suivant les indications données au paragraphe 4.4.

Le maître d'œuvre doit définir les cas de charge à prendre en compte en couverture : les principes de couverture peuvent conduire à des cas de charge particuliers, linéaires et/ou ponctuels pouvant impacter le dimensionnement.

Les isolants pourront être posés entre chevrons fixés aux panneaux CLT. Une structure rapportée sur les chevrons permet de recevoir la couverture (lattage et/ou contre-lattage, voligeage, etc.) apte à créer les conditions de ventilation nécessaires.

Une attention particulière doit être apportée à la qualité de la pose des panneaux CLT supports de couverture. Le support constitué par le charpentier doit faire l'objet d'une acceptation contradictoire avec le couvreur et portant sur les points suivants :

- planéité du plan de pose avec, notamment, limitation du désaffleurement entre deux panneaux ± 2 mm compatible avec la nature des éléments à mettre en œuvre, et, particulièrement, l'isolant pour les couvertures ;
- respect de la pente prescrite par la maîtrise d'œuvre conformément au DTU, au DTA ou à l'Avis Technique dont relève la couverture adoptée.

Mise en œuvre

Fixations

La sélection des connecteurs pour la réalisation d'une couverture sous Avis technique se fera exclusivement suivant préconisations dudit Avis (sélection d'une pointe ou d'une vis avec définition de la longueur minimale de pénétration, capacité à l'arrachement P_k , densité des fixations).

La sélection des fixations pour la réalisation d'une couverture traditionnelle doit s'appuyer sur le DTU de référence associé (cf. § 1.2).

La fixation d'éléments rapportés sur les panneaux CLT est exécutée à l'aide de vis à bois $\varnothing 4$ mm minimum conformes aux normes de la série NF EN 27-14 x., ou de pointes annelées ou torsadées de 2,5 mm minimum. Il ne sera pas fait usage de pointes lisses.

Les pointes annelées ou torsadées sont à tête plate, galvanisées à chaud ou inox A2/A4 de longueur 90 mm à 300 mm. Leur résistance à l'arrachement dans le support bois P_k déterminée suivant la norme NF P 30-310 sera au moins égale à 120 daN pour une pénétration de 50 mm dans du bois massif.

Une attention toute particulière doit être portée à la nature des aciers et à leur compatibilité avec les matériaux de couverture utilisés et leur exposition aux intempéries.

Dans le cas d'une fixation par vis et pour faciliter la pose, mieux vaut employer les vis ayant fait l'objet d'un post-traitement de type cirage superficiel (wax) destiné à réduire le frottement au serrage.

Toutes les fixations énumérées dans les DTU couverture précités sont compatibles avec ces panneaux dès lors qu'elles sont décrites pour fixation dans des pièces en bois, des panneaux bois ou à base de bois.

Dans le cas d'une fixation d'éléments en bois directement sur les panneaux CLT par pointes, la longueur minimale de la fixation sera égale à deux fois l'épaisseur de l'élément rapporté, soit, par exemple, pour les liteaux et contre-liteaux 27 x 27 mm, des pointes d'une longueur de 54 mm au minimum. L'épaisseur des panneaux CLT peut donc se voir contrainte par la nature (épaisseur) des éléments et des systèmes de couverture rapportés. Par ailleurs, les systèmes de couverture sous Avis Techniques ou DTA préconisent des longueurs minimales de pénétration. C'est le cas, par exemple, de la mise en œuvre du procédé sarking qui impose une longueur minimale de pénétration de 60 mm de la pointe dans un panneau CLT.

Dans le cas d'une fixation d'éléments ou de systèmes par vis dans les panneaux CLT, les longueurs minimales sont prescrites dans les Avis Techniques et les DTA des produits.

Les références aux dispositions spécifiques des Avis Techniques ou des DTA et des DTU des produits mis en œuvre permettent de se conformer aux exigences de réalisation et de dimensionnement des assemblages décrits.

La nature et la densité des connecteurs sont adaptées au mode constructif et observent les recommandations données dans les DTU, les Avis Techniques ou les DTA respectifs de chaque couverture, complétées des dispositions supplémentaires décrites dans le § 4.4.

Écran de sous-toiture

La pose d'un écran de sous-toiture peut être rendue nécessaire lorsque la fonction écran de sous-toiture pour la récupération de la neige poudreuse et l'évacuation des eaux de fonte vers l'égout est prescrite par les DPM ou les DTU et les DTA. Les prescriptions des *Cahiers du CSTB* n° 3356-P1-V2 et 3651-P2-V2 permettent d'en déterminer les modalités, notamment au regard de sa classe de perméabilité à la vapeur et de sa compatibilité avec l'isolant ou le système de couverture adopté.

Les modalités de mise en œuvre de l'isolant extérieur sont à établir sur la base des exigences des DTU et des documents spécifiques de marché pour la pose traditionnelle.

Il sera possible de se référer au DTU 40.29 « Mise en œuvre des écrans souples de sous toiture » actuellement en préparation.

Écran pare-vapeur (si nécessaire)

Lorsque les panneaux CLT mis en œuvre avec un parement intérieur, le film pare-vapeur doit être placé du côté intérieur de l'ouvrage chauffé, entre le panneau CLT et le revêtement intérieur (Figure 92). En aucun cas il ne doit être porté atteinte à l'intégrité du pare-vapeur. En particulier, lors de la réalisation des ouvrages de second œuvre, les entreprises doivent veiller à ne pas le percer ou le découper.

Lorsque les panneaux CLT sont mis en œuvre sans parement intérieur, le pare-vapeur peut être placé côté extérieur du panneau CLT pourvu que la résistance thermique du panneau CLT ($\lambda = 0,13 \text{ W/m.K}$) soit inférieure ou égale de moitié à celle de l'isolation rapportée par l'extérieur (règle des 2/3-1/3) en région de plaine, et inférieure ou égale au tiers de l'isolation pour une altitude supérieure à 600 m (règle des 3/4-1/4).

Types de couverture

Couverture en ardoise

La conception et la pose de la couverture en ardoise sont réalisées conformément aux prescriptions du :

- DTU 40.11 pour les ardoises naturelles ;
- DTU 40.13 pour les ardoises en fibres-ciment.

Dans ce cadre, la toiture est conçue tel que décrit au § 6.8.2.2. avec fixation du liteaunage-chanlottage. Cela n'exclut pas une conception avec mise en œuvre sur volige suivant les principes du § 6.8.2.

Couverture en bardeaux bituminés

La conception et la pose de la couverture sont réalisées conformément aux prescriptions des DTU de la série 40.14. Les bardeaux bituminés ne sont jamais mis en œuvre directement sur les panneaux CLT comme supports directs de couverture.

Ces toitures doivent être envisagées avec la mise en œuvre d'une structure intermédiaire support direct de couverture conçue exclusivement avec des panneaux à base de bois suivant le § 3.2.2 du DTU 40.14.

Couverture en tuiles

La conception et la pose de la couverture en tuiles sont réalisées conformément aux prescriptions des DTU de la série 40.2.

La pose directe des tuiles sur les panneaux CLT n'est pas admise. On utilise des contre-liteaux sur lesquels sont posées les tuiles. Les dimensions de ces liteaux sont choisies de façon à ce qu'il subsiste un espace minimal de 2 cm entre la tuile et le panneau CLT (Figure 68).

Couvertures en plaques nervurées et en plaques ondulées

La conception et la pose de la couverture sont réalisées conformément aux prescriptions des DTU de la série 40.3*. Les conditions de ventilation à respecter sont définies dans le DTU. La pose directe sur les panneaux n'étant pas possible, il est nécessaire de prévoir une pose des plaques sur lambourdes ancrées dans les panneaux.

Couverture en feuilles et bandes métalliques

La pose des éléments métalliques n'est pas autorisée en contact direct avec les panneaux CLT.

Un liteauage et un platelage ventilé continu conformes aux DTU de la série 40,4* doivent être réalisés afin de supporter la couverture en bandes métalliques.

La conception et la pose de la couverture sont réalisées selon les prescriptions des DTU de la série 40.4.

Couverture en tuiles métalliques

Il peut être envisagé de réaliser des couvertures avec des tuiles métalliques. Les DTA de ces procédés en indiquent les limitations et les préconisations de mise en œuvre.

Leur utilisation est conditionnée à la réalisation de toitures froides, incluant donc la création d'une lame d'air ventilée en sous-face du support de couverture rapporté sur les panneaux CLT.

Traitement des points singuliers

On se référera aux DTU ou aux Avis techniques des couvertures mises en œuvre pour en apprécier les sujétions de réalisation des points singuliers.

Des détails de principe sont également fournis aux figures 92 à 120 afin d'illustrer l'adaptation des détails standards des DTU respectifs à la mise en œuvre sur panneaux CLT.

Les pièces complémentaires et accessoires sont à sélectionner, mettre en œuvre, assembler et fixer afin de réaliser une interruption de couverture ou une continuité conforme aux prescriptions des DTU.

Égouts

La conception doit en particulier détailler :

- les dispositions antibasculements (chanlatte, liteau surélevé, planche de rive d'égout) ;
- les dispositions de départ de couverture : bandes d'égout métalliques à développement uniforme ou variable suivant l'inclinaison de la rive par rapport au plan de toiture et l'adéquation

entre la longueur du rampant et le pureau, le doublis et le voligeage, etc. ;

- les dispositions antisoulèvement des éléments mis en œuvre en cas de saillie d'égout afin d'éviter leur prise au vent ;
- les pièces faisant larmier pour fixation d'éléments rapportés comme les gouttières ;
- les pièces additionnelles, notamment les planches de rive à prévoir pour protéger la tranche des panneaux CLT contre les projections directes d'eau.

Rives

Les rives sont réalisées à l'aide :

- d'éléments de couverture adaptés à cette fonction : tuiles faîtières, éléments de rive latérale, etc. ;
- de garnitures, solin, bande de solin, noquets, etc.

Remarque

S'il y a recouvrement des éléments de couverture par des pièces métalliques, la longueur minimale de ces pièces est donnée par le DTU associé.

Faîtages

La fixation nécessaire des éléments de faîtage et la réalisation de la ventilation en sous face de couverture imposent fréquemment de prévoir des lisses de rehausse à fixer aux panneaux CLT ou à des pièces de structure en bois intermédiaires déjà rapportées.

Les faîtages pourront toutefois être réalisés à l'aide de bandes métalliques simples posées sur support jointif (sur voligeage, par exemple) ou par des faîtières préfabriquées posées directement sur les éléments de couverture et fixées à la structure en bois (chevrons, par exemple).

Noues et arêtières

Les noues sont généralement constituées par un revêtement métallique posé sur un voligeage ou une fourrure dont le développement et le profil sont fonction de leur pente et de la quantité d'eau à évacuer. Un relevé contre-liteau ou une pièce intermédiaire assurant la même fonction sont conçus et réalisés aux dimensions appropriées (noue encaissée). Le recouvrement minimal des éléments de couverture sur la partie métallique de fond de noue à observer se détermine à partir du DTU associé à la couverture.

Les arêtières sont réalisés à la façon des faîtages, généralement avec tasseau de rehausse, couvre-joint métallique et noquet.

Écrans de sous-toiture

Il convient de se référer aux préconisations du *Cahier du CSTB* n° 3651-V2-P2 § 9 pour intégrer les spécificités de mise en œuvre des écrans de sous-toiture lors de la conception de la toiture.

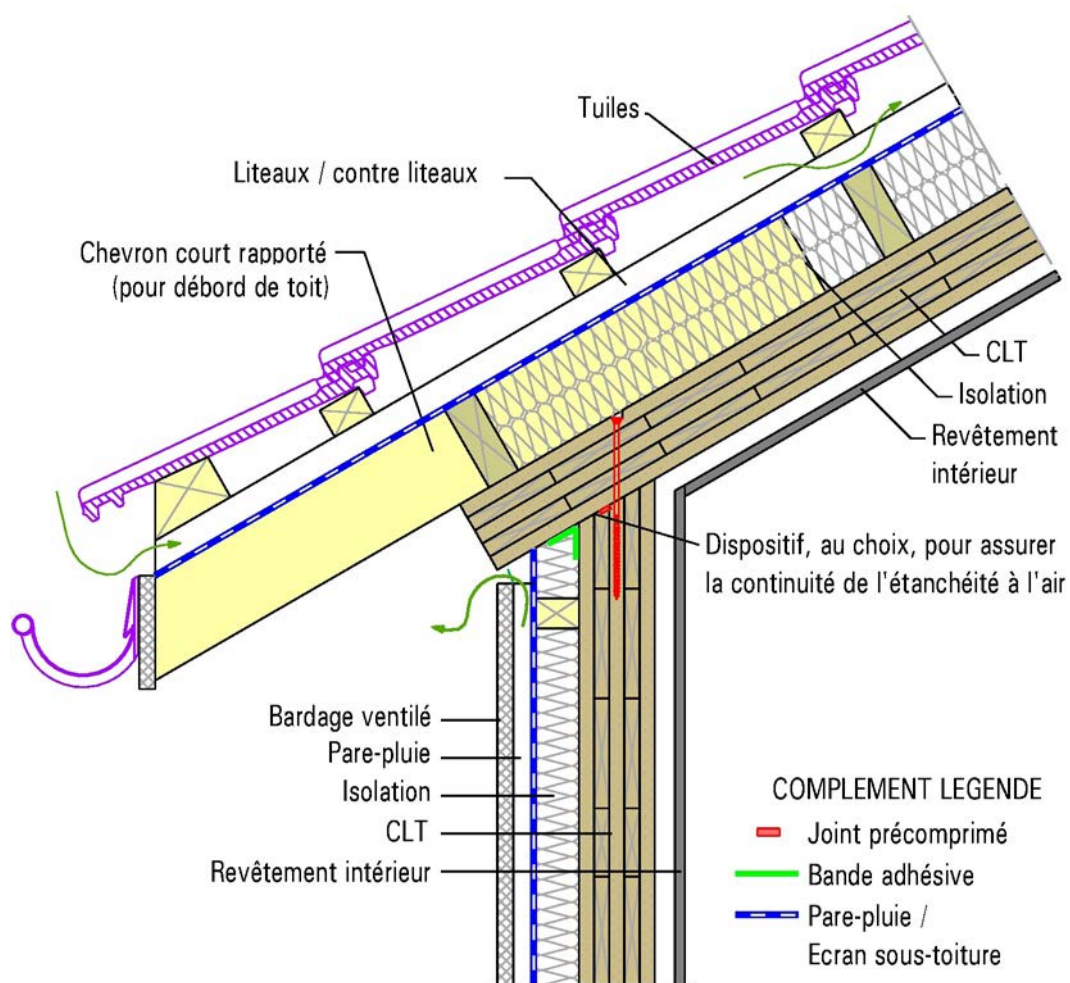
Réalisation d'ouvertures pour pénétrations discontinues

Les pénétrations discontinues sont des ouvrages isolés à l'intérieur de la surface de la couverture : souches, lanterneaux, fenêtres de toit, conduits de cheminée, etc.

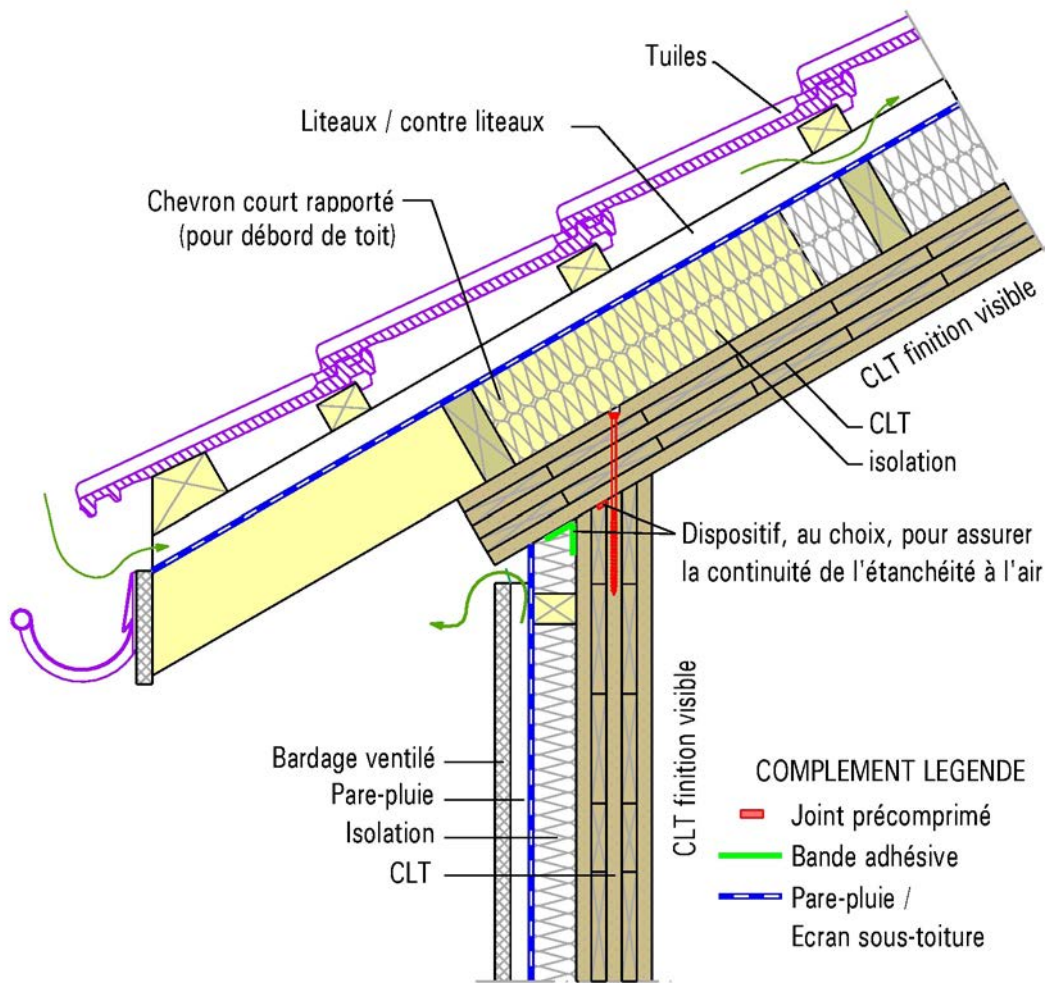
La charge des éléments rapportés doit toujours faire l'objet d'une vérification. Elle sera reprise :

- soit par les panneaux CLT (vérification suivant la méthodologie détaillée dans le § 4.4.) ;
- soit par une assise, une console, un support métallique ou tout autre élément structural du genre poutre, isolé ou relié aux autres ouvrages suivant le type de conception retenu.

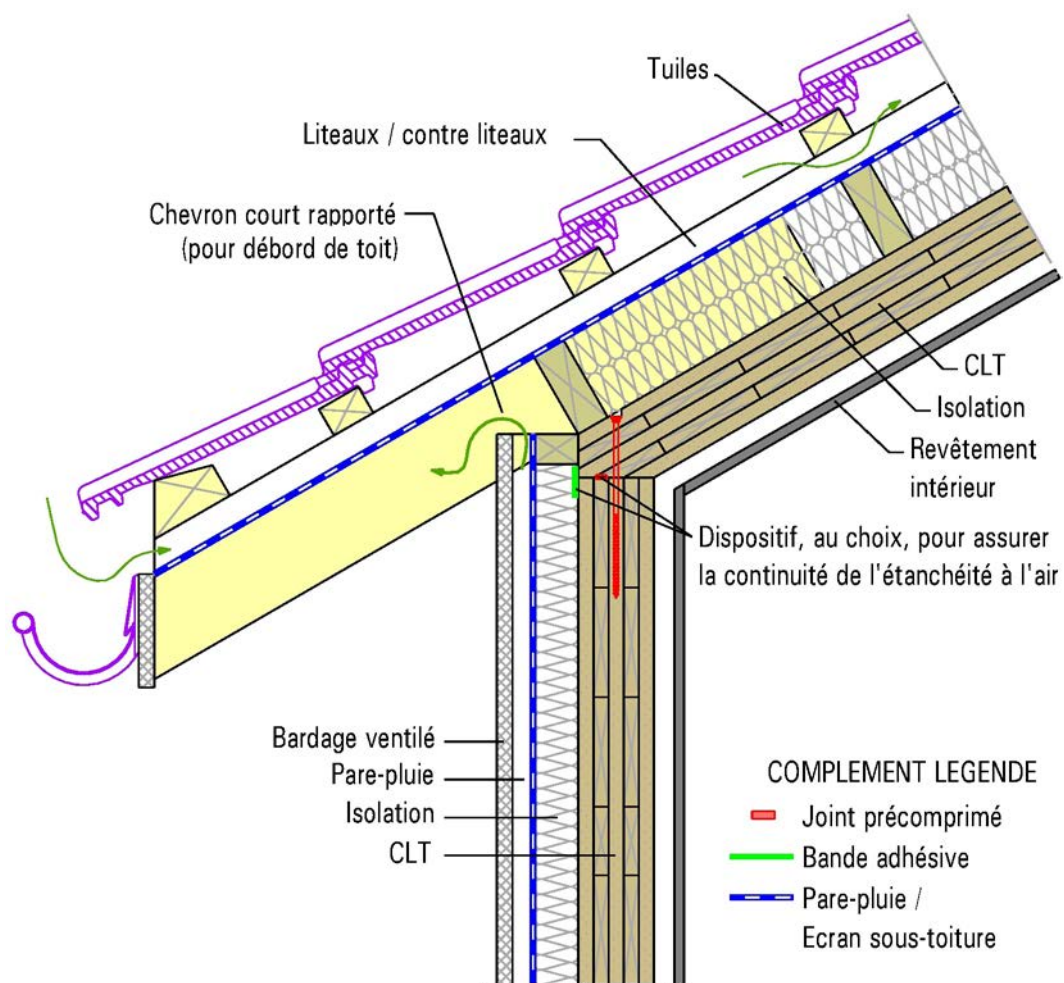
Par ailleurs, pour la réalisation de conduits de cheminée, se reporter aux préconisations du DTU 24.1, partie 1, § 5.4.7 afin de déterminer la position du débouché.



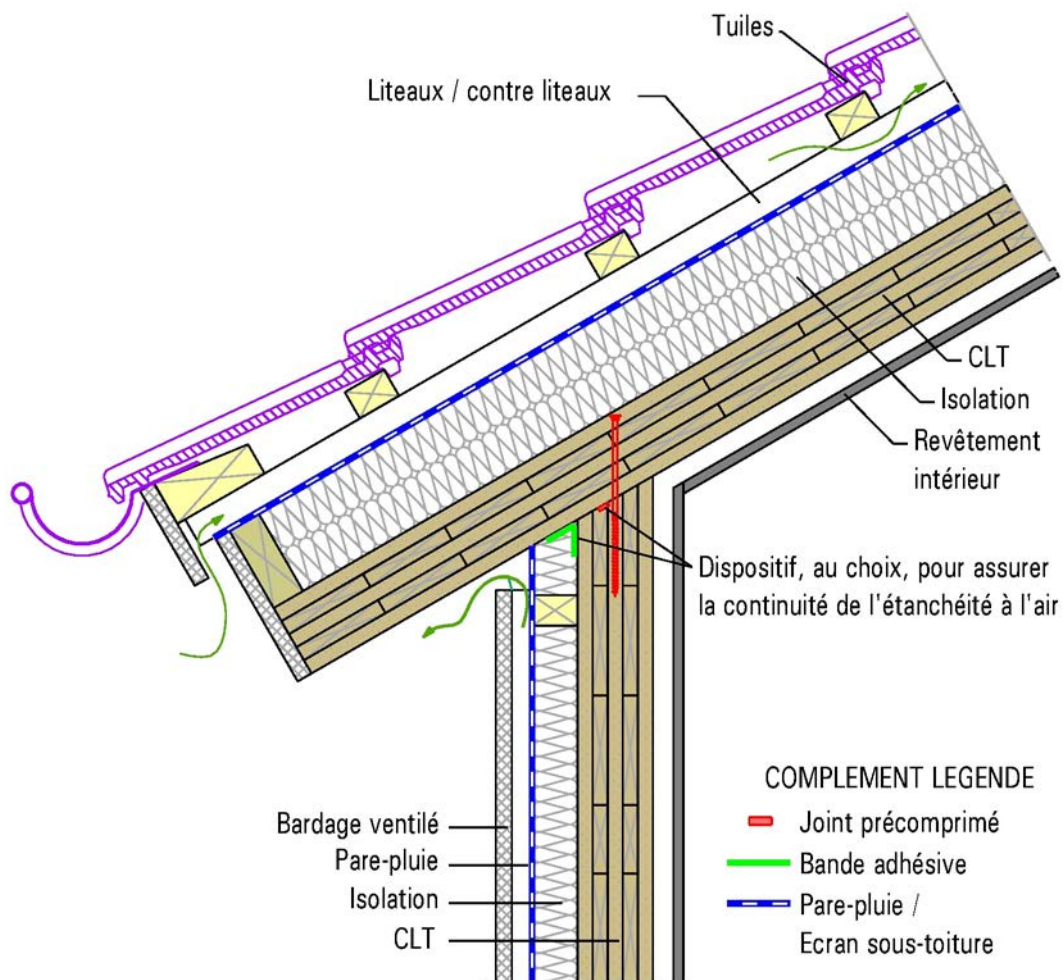
▲ Figure 92 : Couverture par petits éléments – Assemblage couverture – Débord par chevron rapporté – Finition intérieure



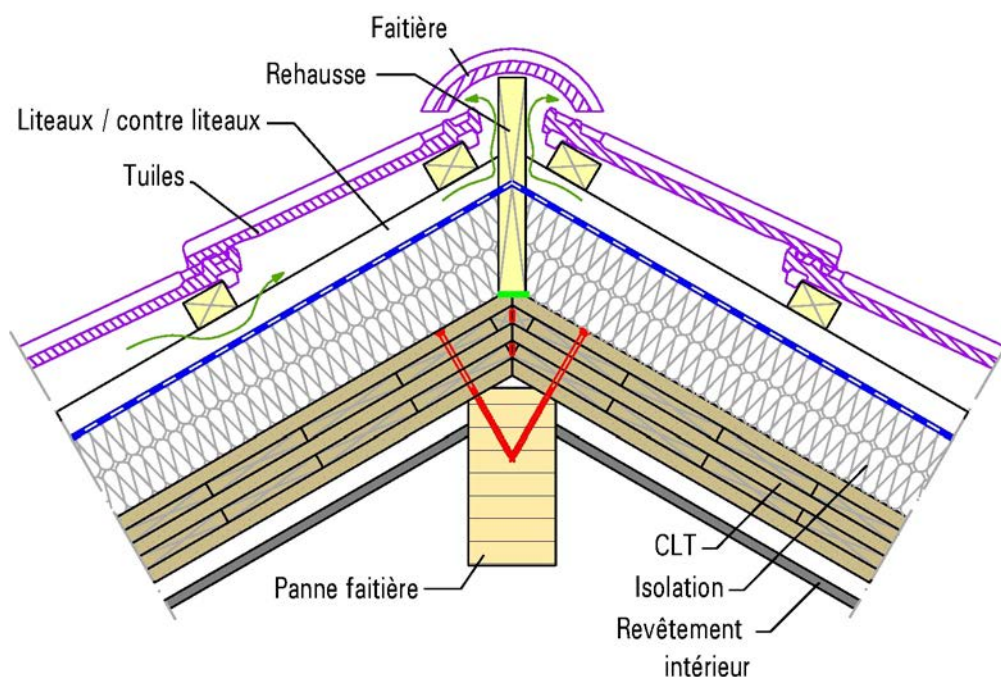
▲ Figure 93 : Couverture par petits éléments – Assemblage couverture – Débord par chevron rapporté – Panneau visible



▲ Figure 94 : Couverture par petits éléments – Débord de toiture



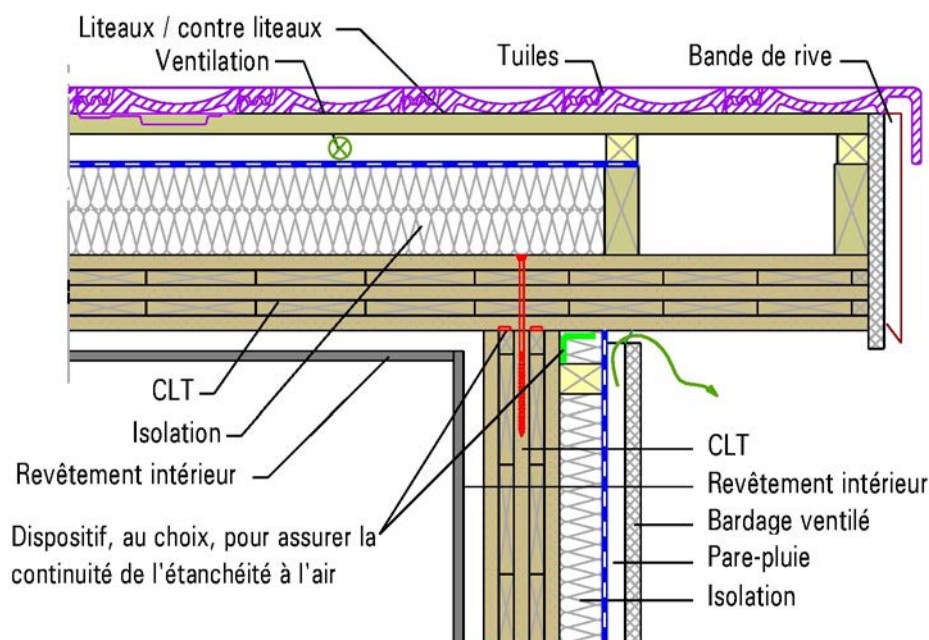
▲ Figure 95 : Couverture par petits éléments – Débord par panneau CLT



COMPLEMENT LEGENDE

- Joint précomprimé
- Bande adhésive
- Pare-pluie / Ecran sous-toiture

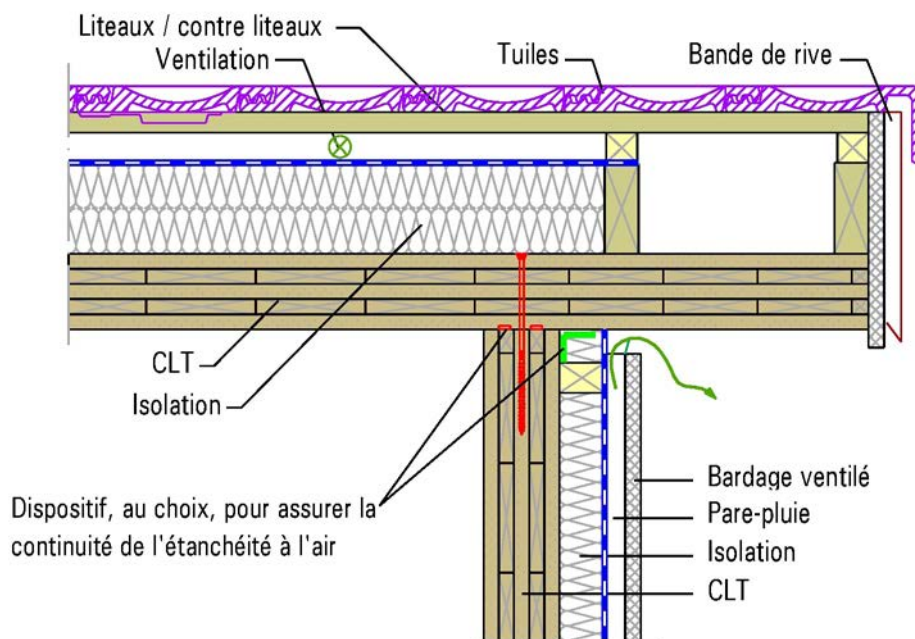
▲ Figure 96 : Couverture par petits éléments – Détail de faîtage



COMPLEMENT LEGENDE

- Joint précomprimé
- Bande adhésive
- Pare-pluie / Ecran sous-toiture

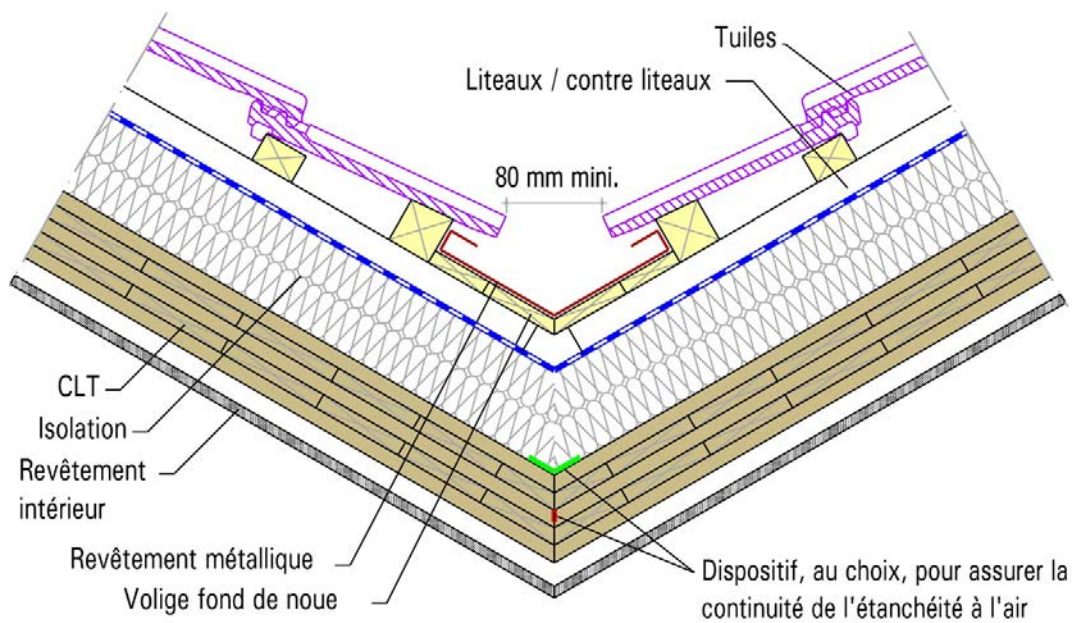
▲ Figure 97 : Couverture par petits éléments – Débord de toiture avec rive latérale – Finition intérieure



COMPLEMENT LEGENDE

- Joint précomprimé
- Bande adhésive
- Pare-pluie / Ecran sous-toiture

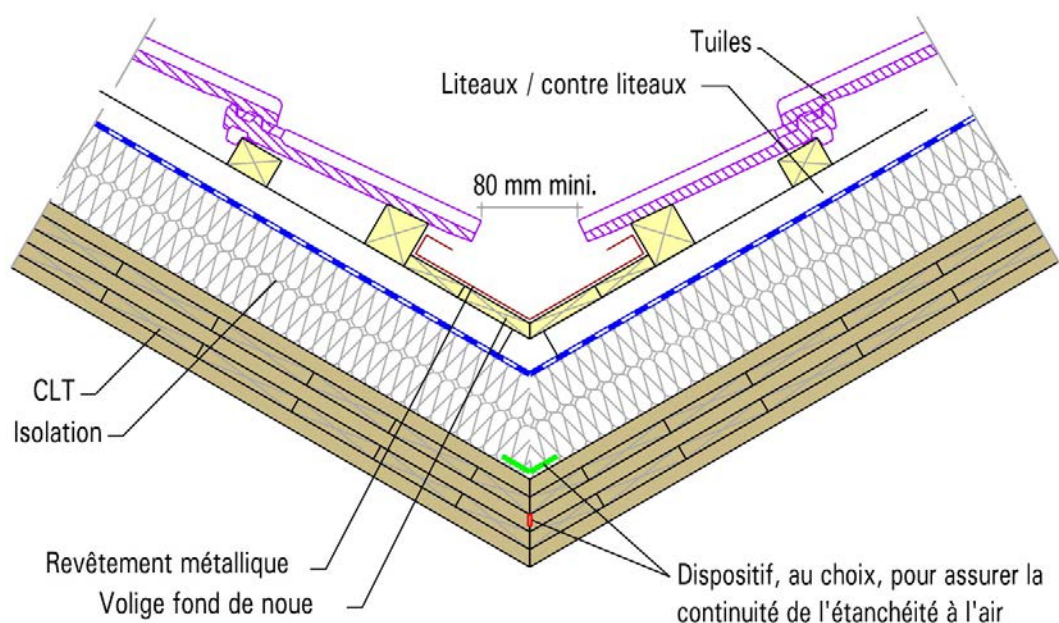
▲ Figure 98 : Couverture par petits éléments – Débord de toiture avec rive latérale – Panneau visible



COMPLEMENT LEGENDE

- Joint précomprimé
- Bande adhésive
- Ecran sous-toiture

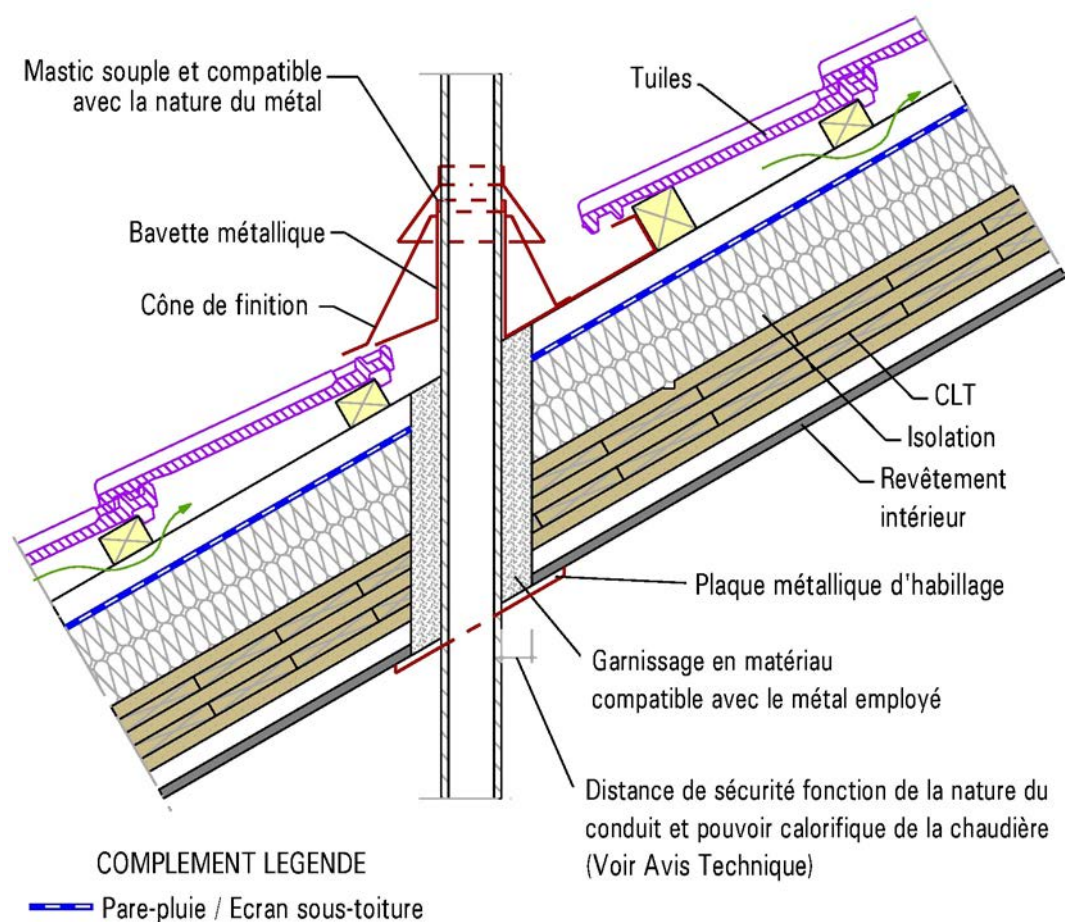
▲ Figure 99 : Couverture par petits éléments – Noue centrale appuyée – Finition intérieure



COMPLEMENT LEGENDE

- Joint précomprimé
- Bande adhésive
- Ecran sous-toiture

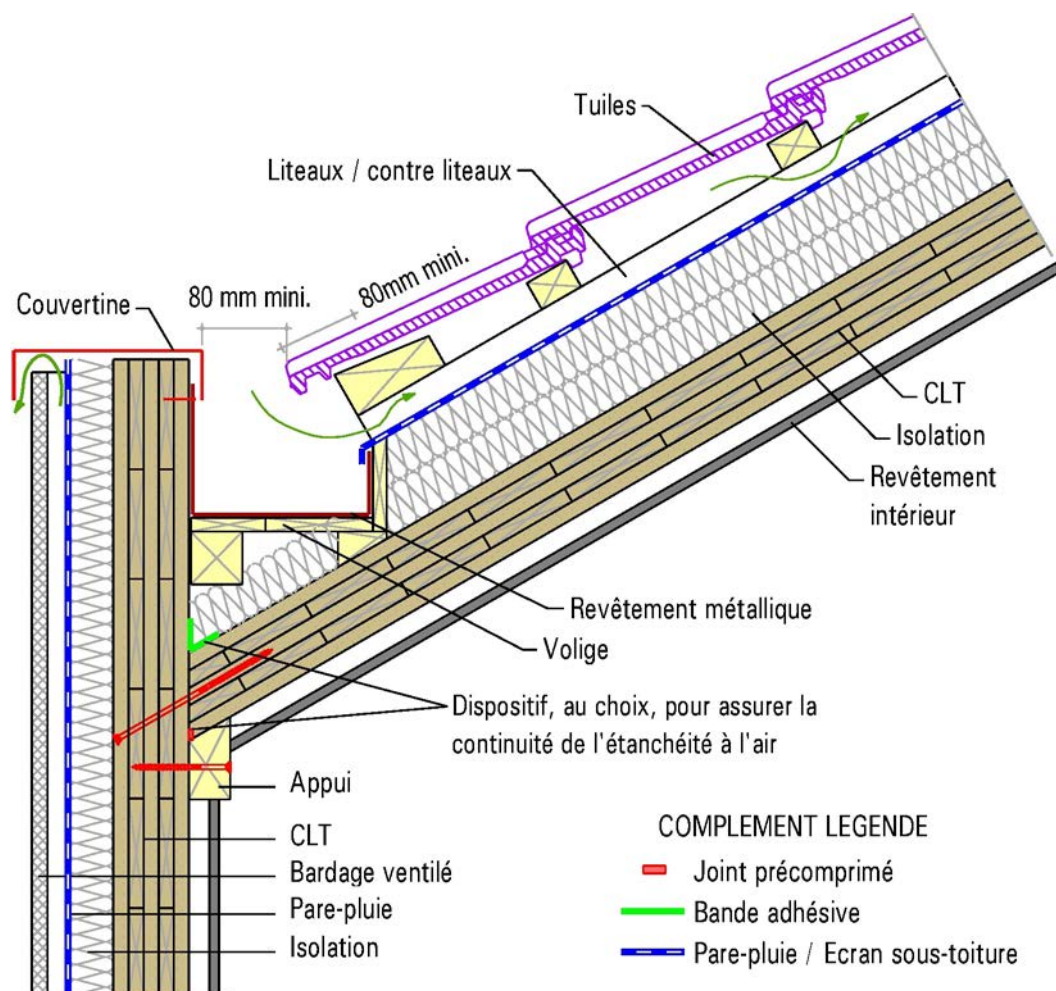
▲ Figure 100 : Couverture par petits éléments – Nœud central appuyée – Panneau visible



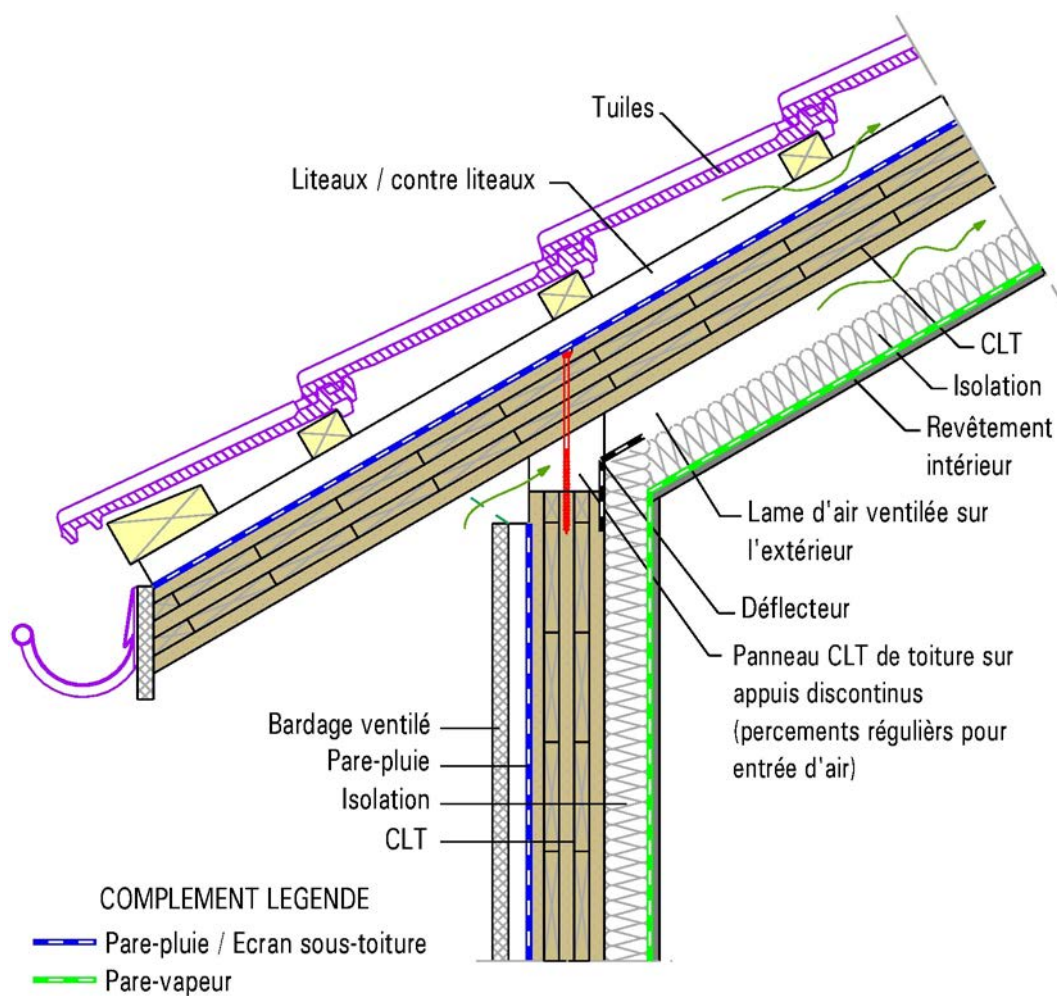
COMPLEMENT LEGENDE

- Pare-pluie / Ecran sous-toiture

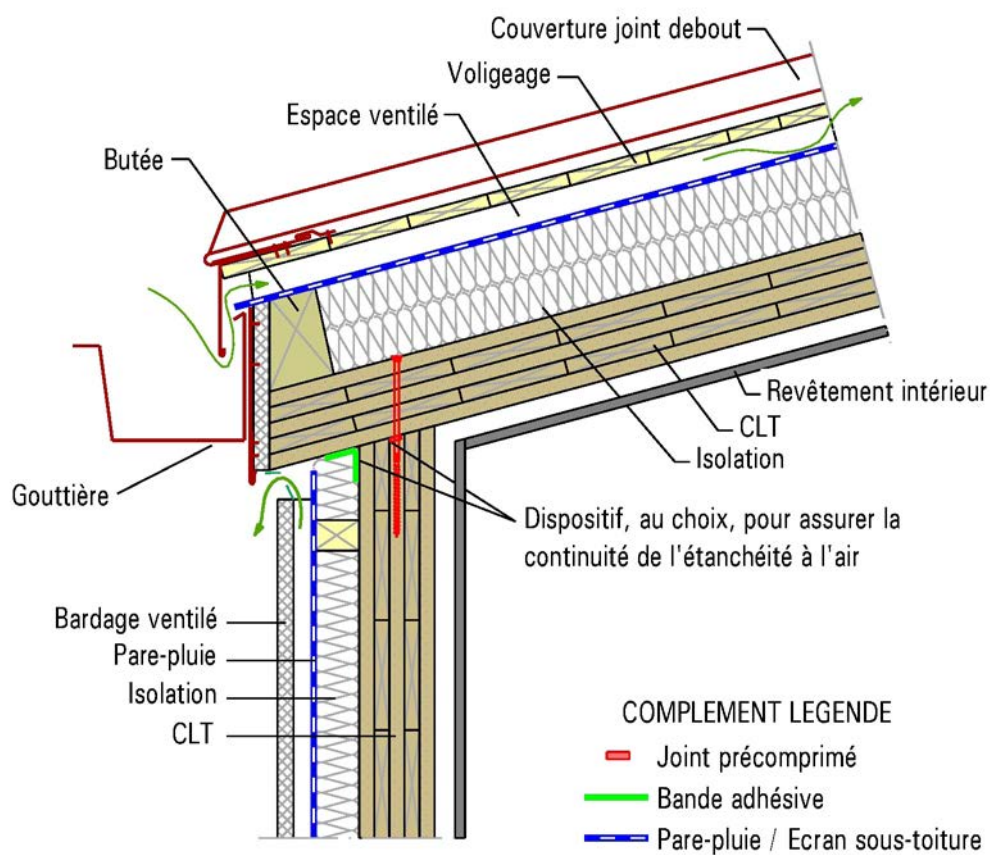
▲ Figure 101 : Couverture par petits éléments – Passage de conduit



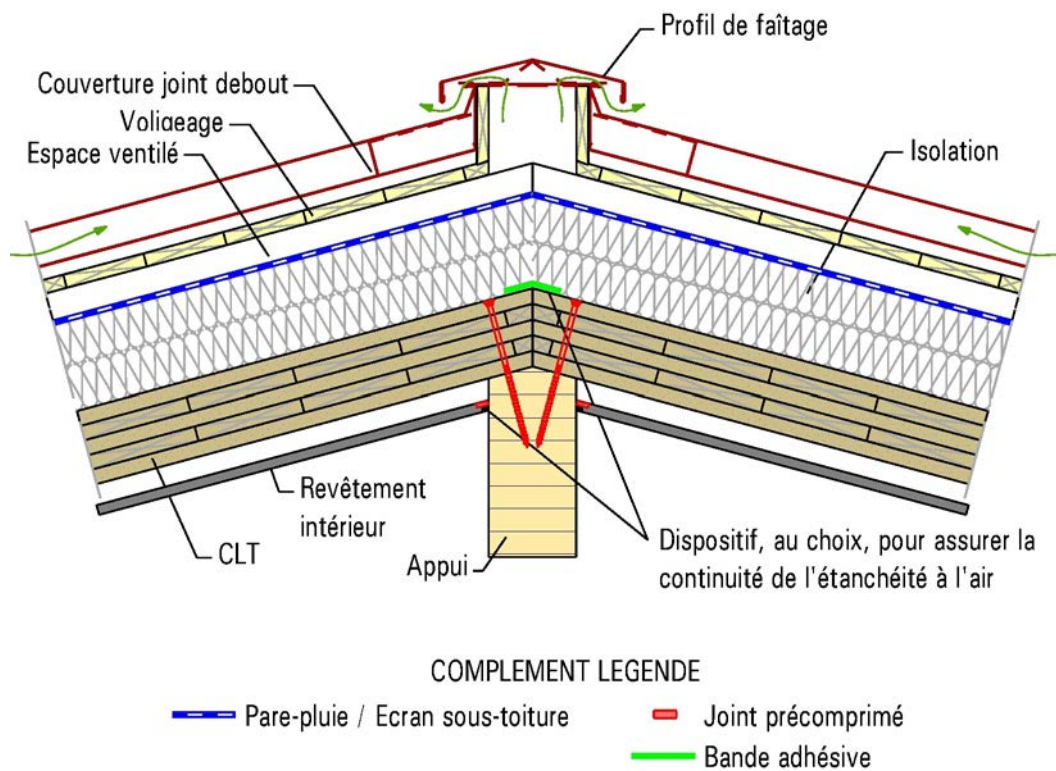
▲ Figure 102 : Couverture par petits éléments – Chêneau



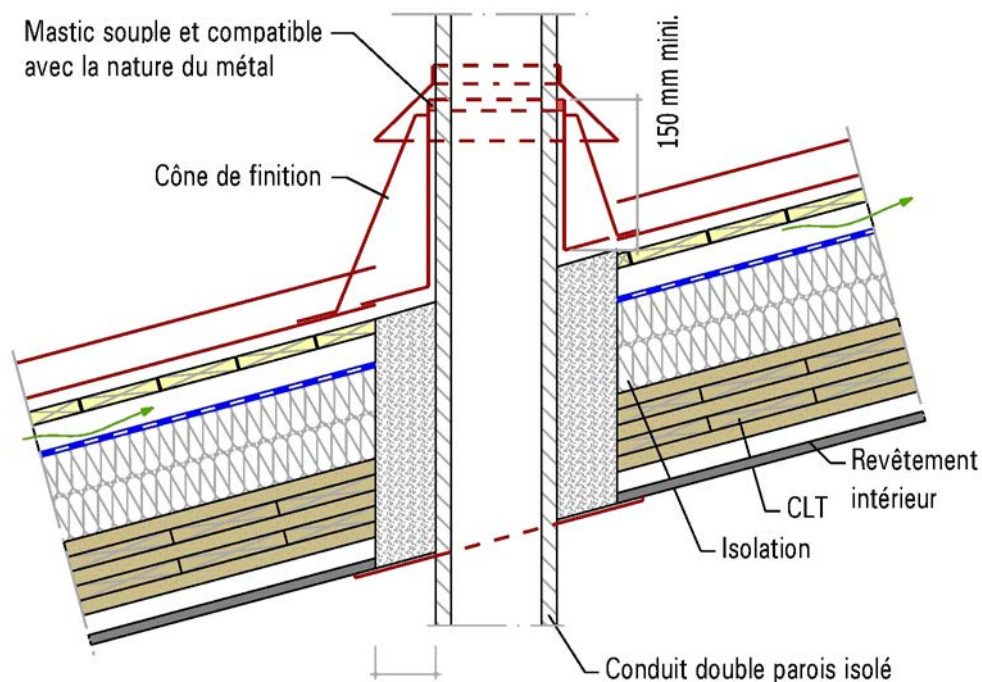
▲ Figure 103 : Couverture par petits éléments – Débord ventilé toiture froide



▲ Figure 104 : Couverture par feuille métallique – Raccord gouttière



▲ Figure 105 : Couverture par feuille métallique – Faîtage ventilé

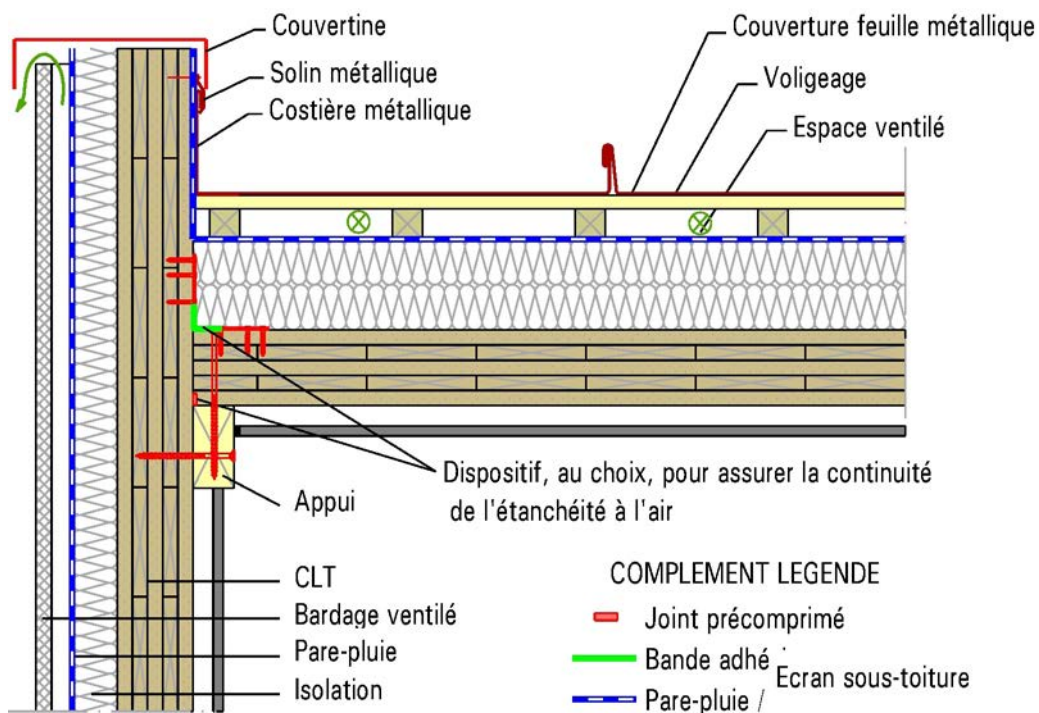


Distance de sécurité fonction de la nature du conduit et pouvoir calorifique de la chaudière
(Voir Avis Technique)

COMPLEMENT LEGENDE

- Pare-pluie / Ecran sous-toiture
- Joint précomprimé
- Bande adhésive

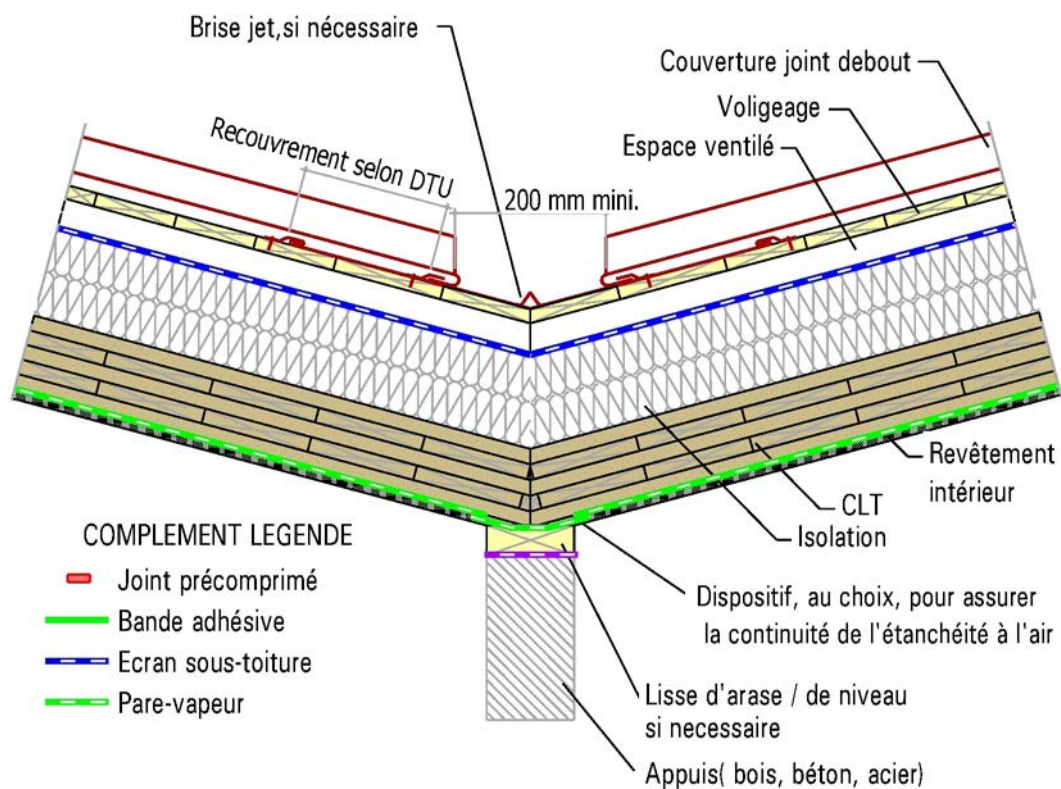
▲ Figure 106 : Couverture par feuille métallique – Passage de conduit



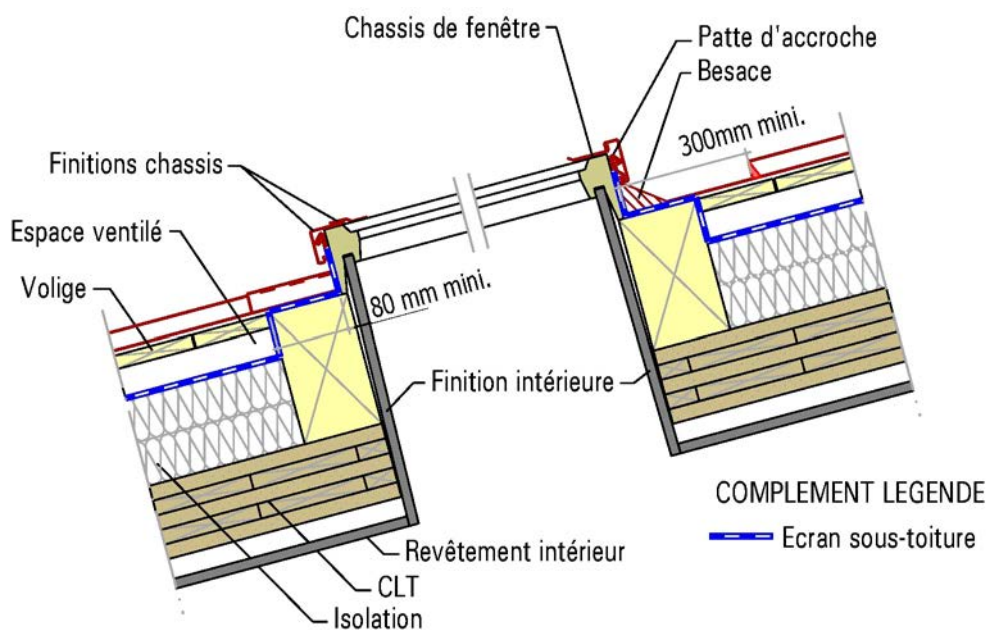
COMPLEMENT LEGENDE

- Joint précomprimé
- Bande adhésive
- Pare-pluie / Ecran sous-toiture

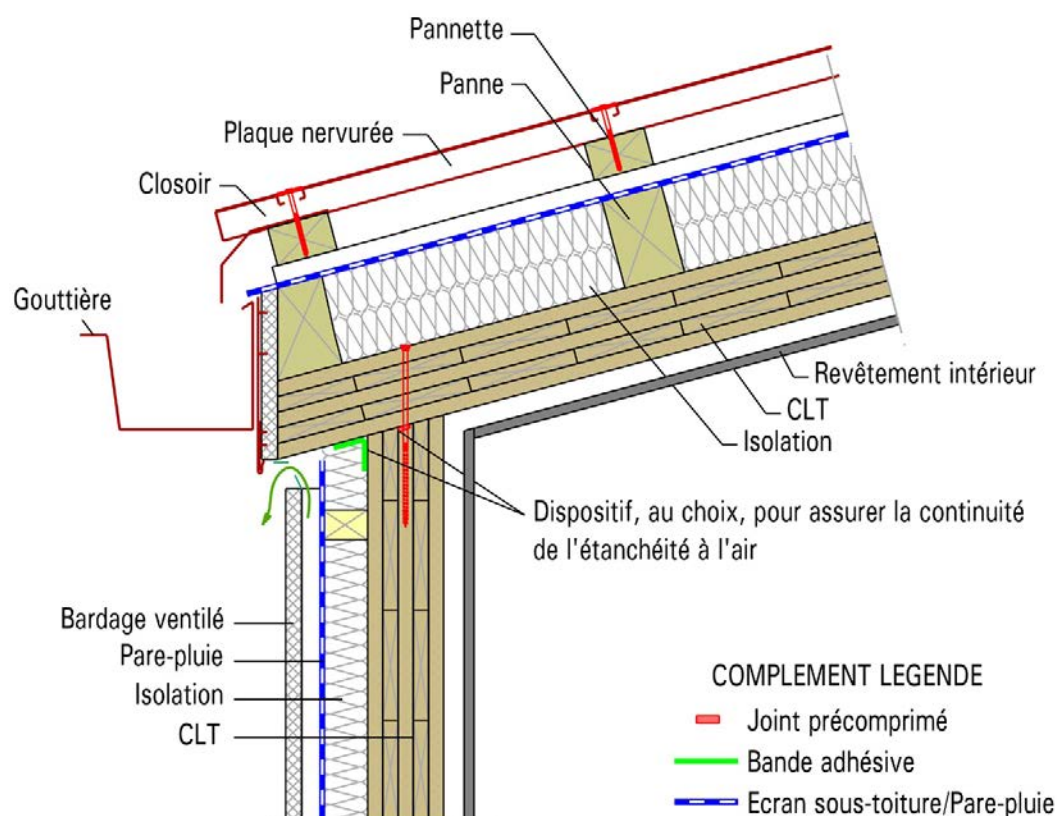
▲ Figure 107 : Couverture par feuille métallique – Relevé



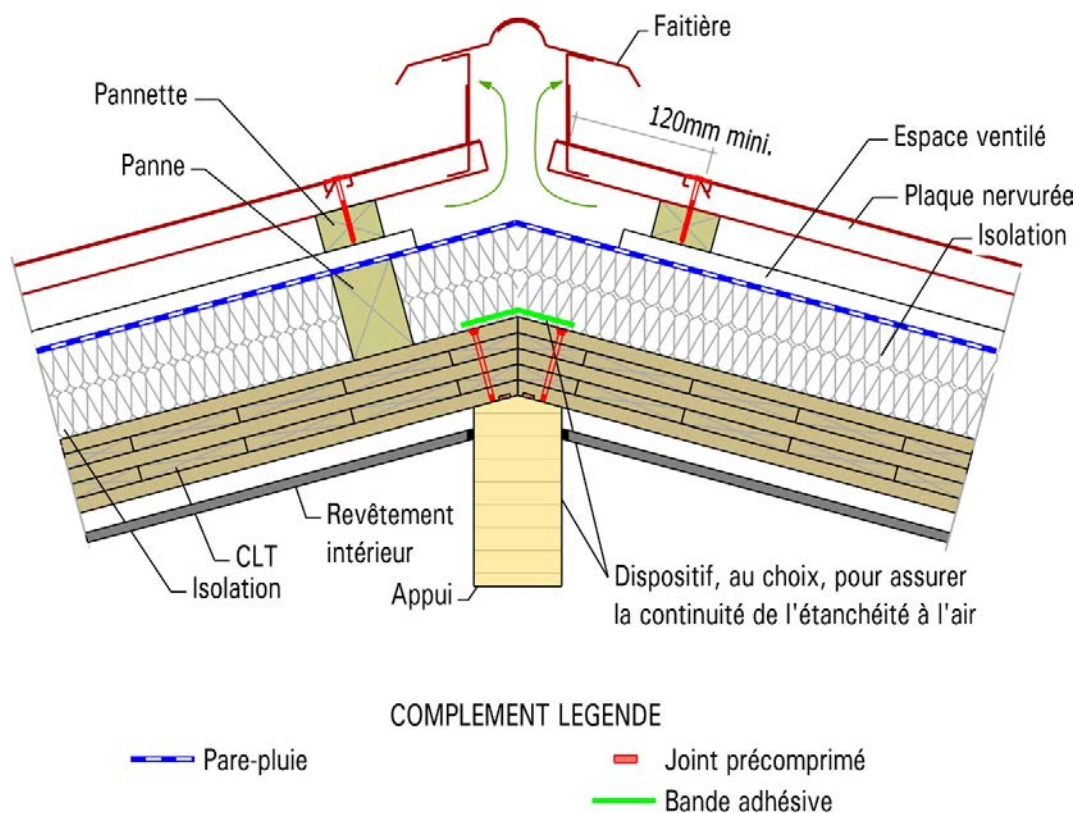
▲ Figure 108 : Couverture par feuille métallique – Noue centrale appuyée



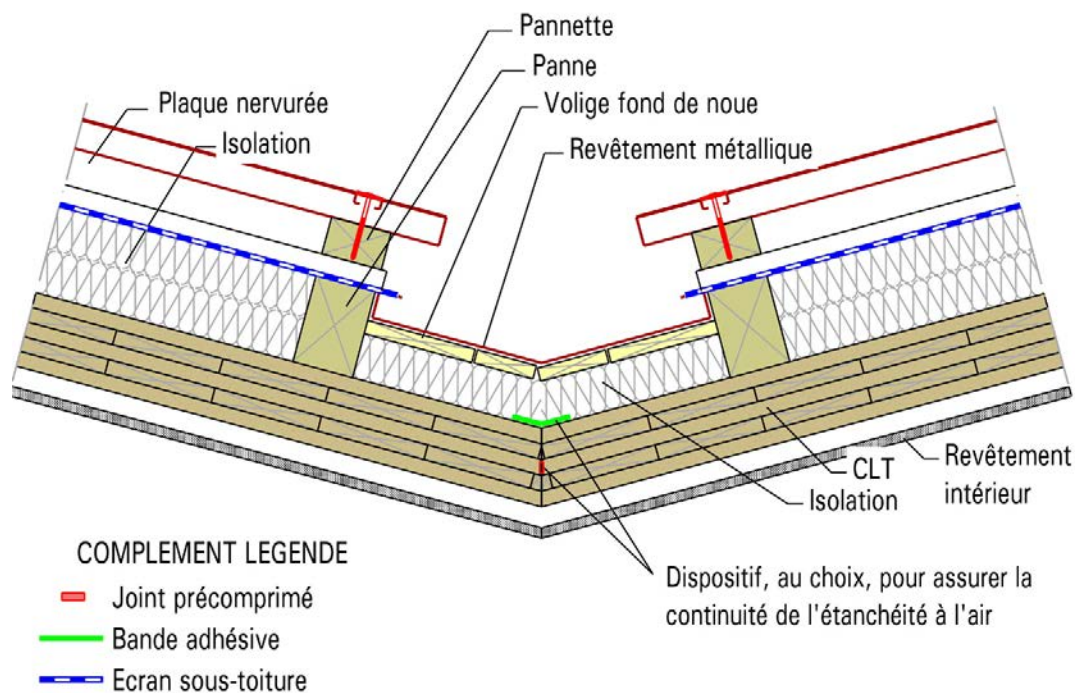
▲ Figure 109 : Couverture par feuille métallique – Fenêtre de toit



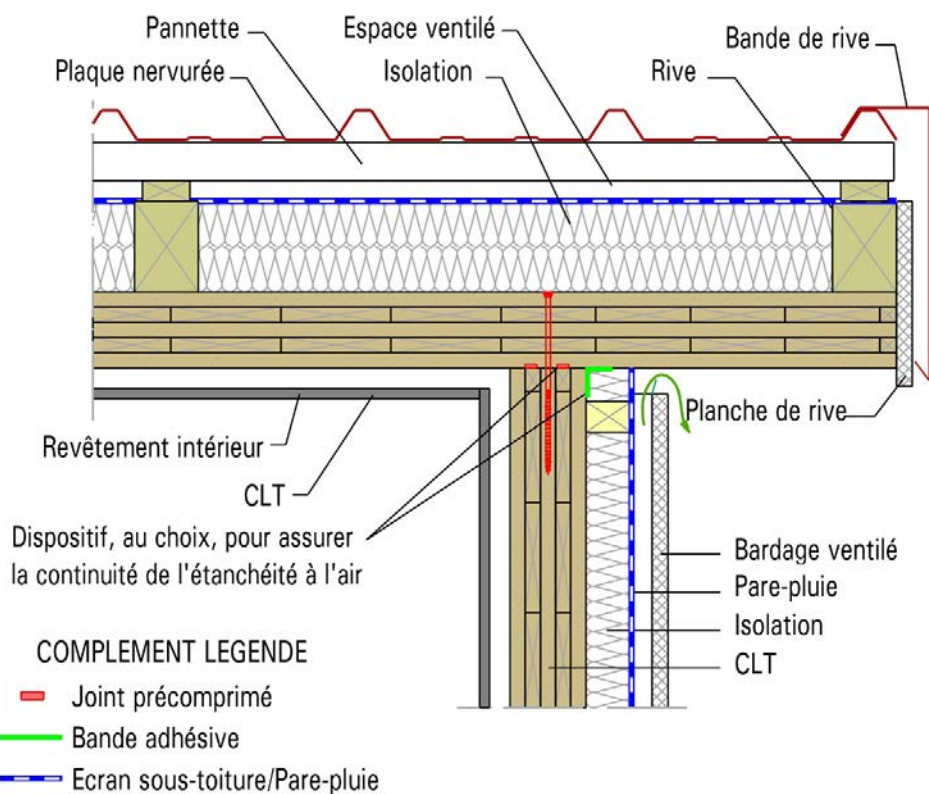
▲ Figure 110 : Couverture par bac-plaque nervurée – Égout avec closoir ondulé sur gouttière



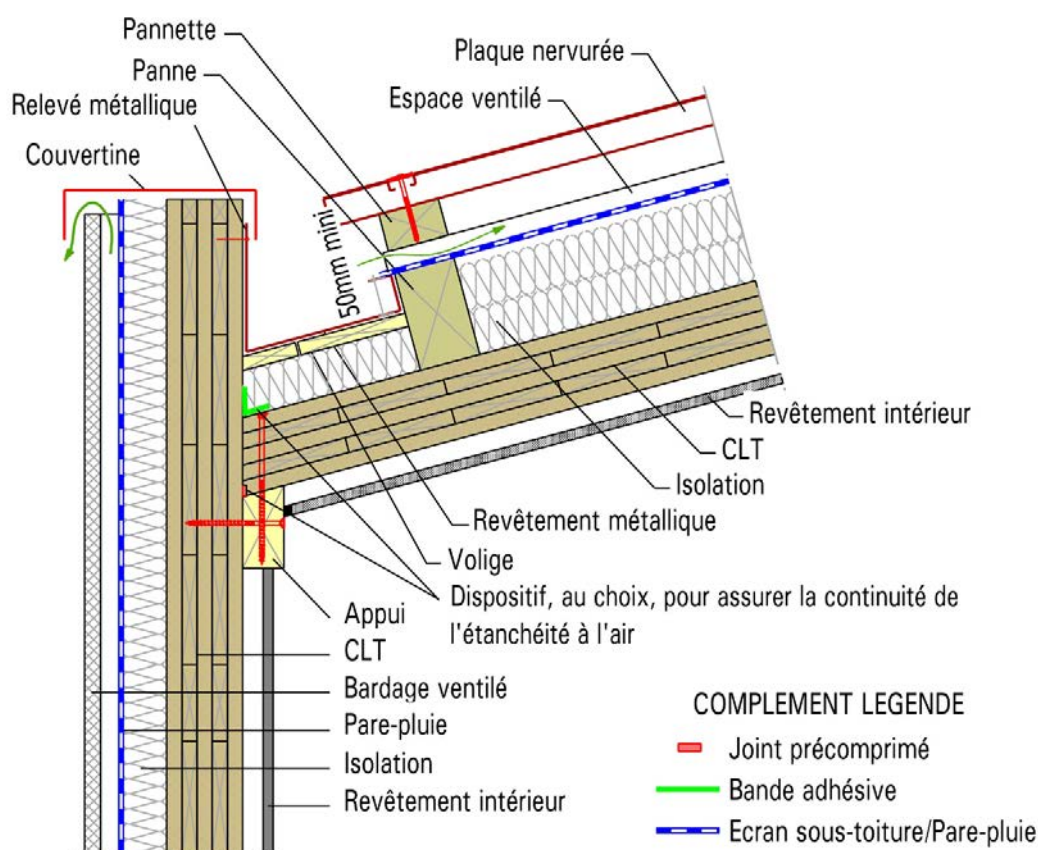
▲ Figure 111 : Couverture par bac/plaque nervurée – Faîtage – Isolation extérieure



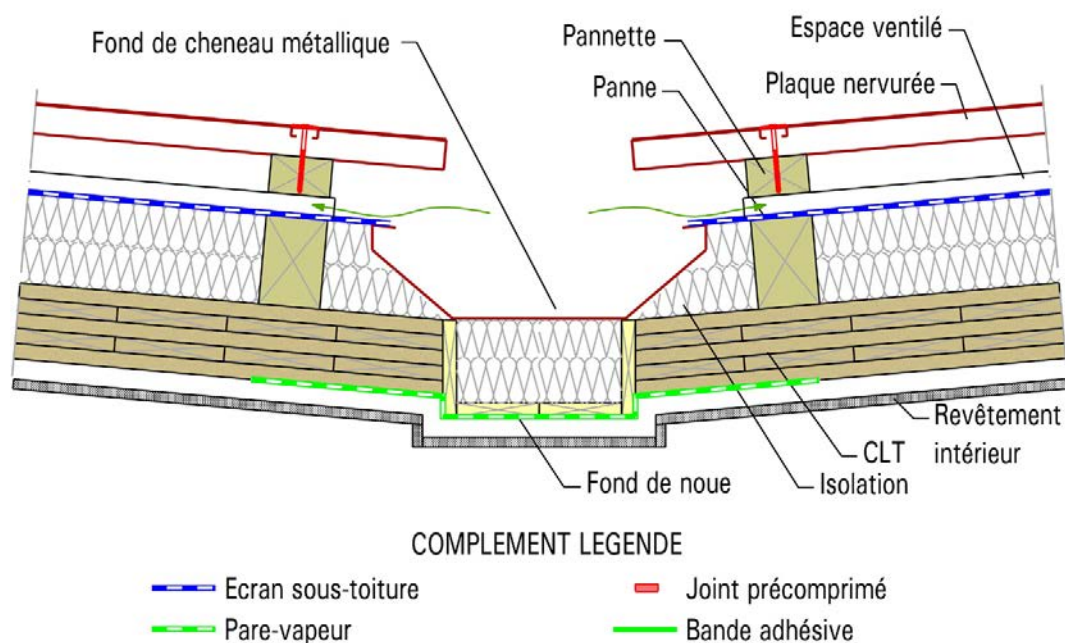
▲ Figure 112 : Couverture par bac/plaque nervurée – Nœud central appuyée pour fortes pentes (> 20 %)



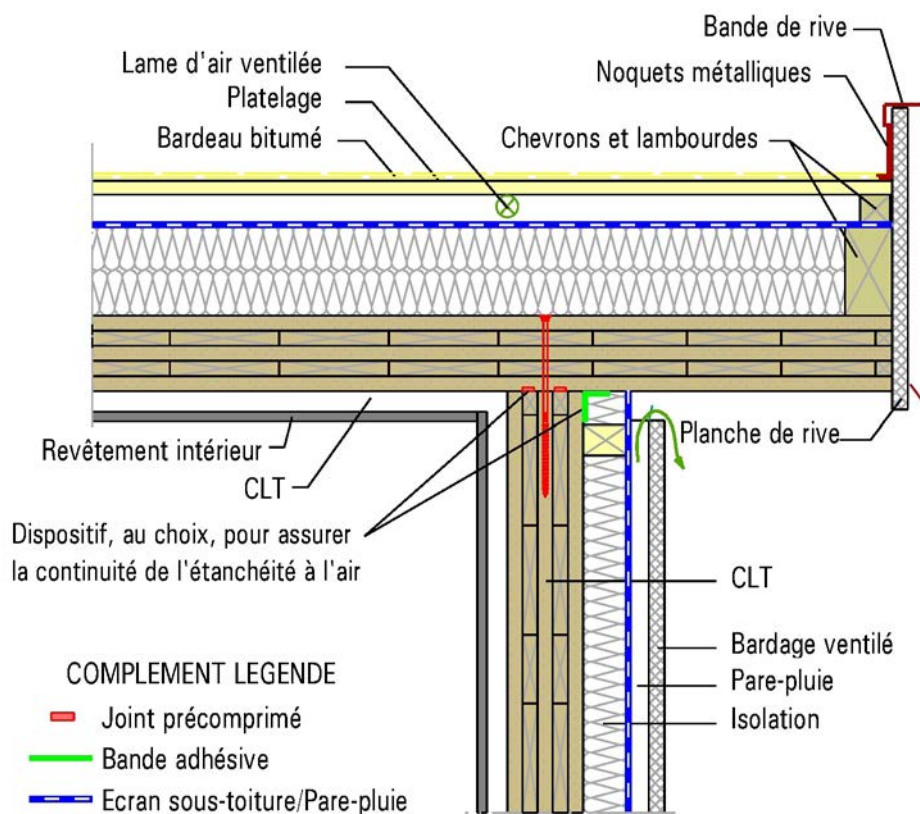
▲ Figure 113 : Couverture par bac/plaque nervurée – Débord de toiture



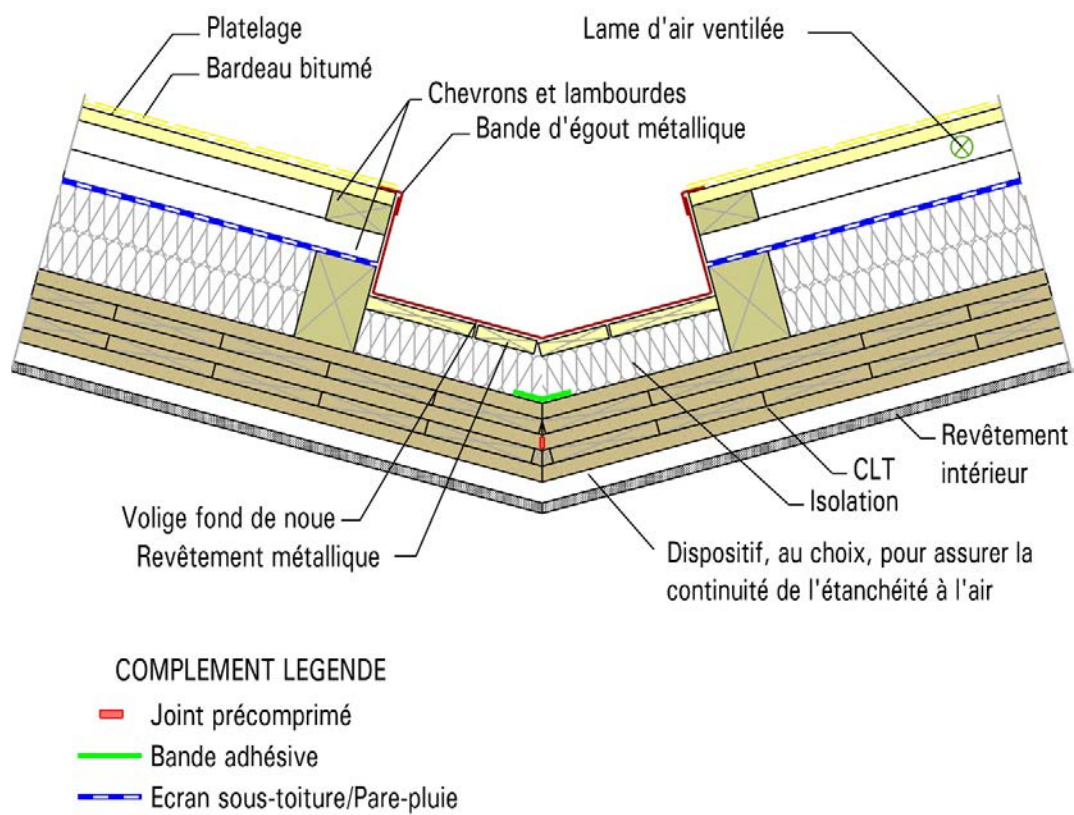
▲ Figure 114 : Couverture par bac/plaque nervurée – Chéneau métallique (pente > 5 %)



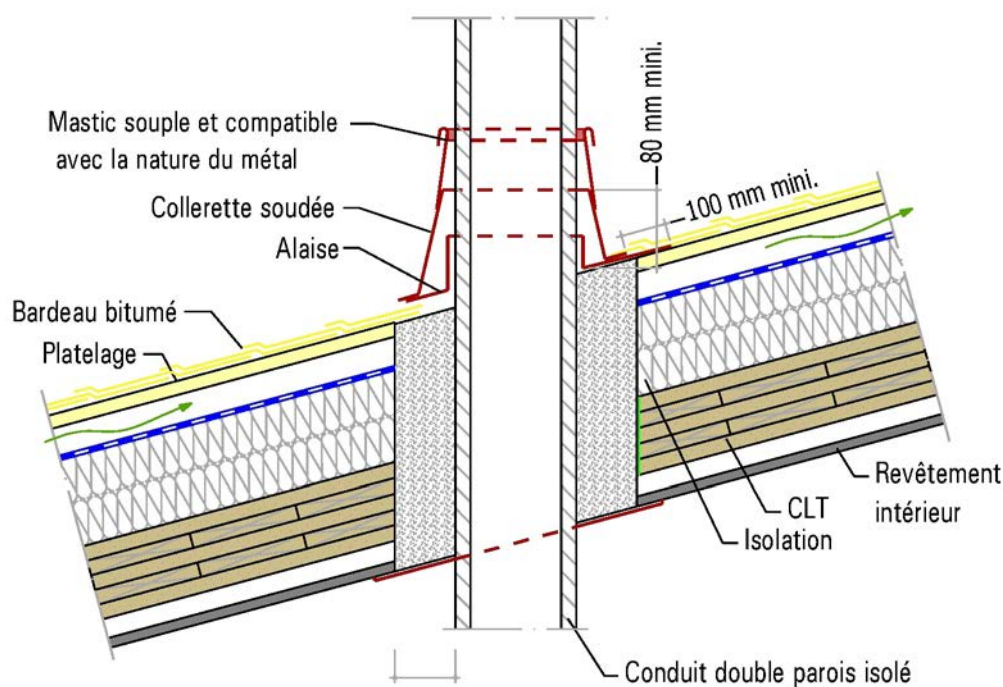
▲ Figure 115 : Couverture par bac/plaque nervurée – Chéneau



▲ Figure 116 : Couverture par bardeaux bituminés – Débord de toiture



▲ Figure 117 : Couverture par bardeaux bituminés – Nœud centrale appuyée



Distance de sécurité fonction de la nature du conduit et pouvoir calorifique de la chaudière
(Voir Avis Technique)

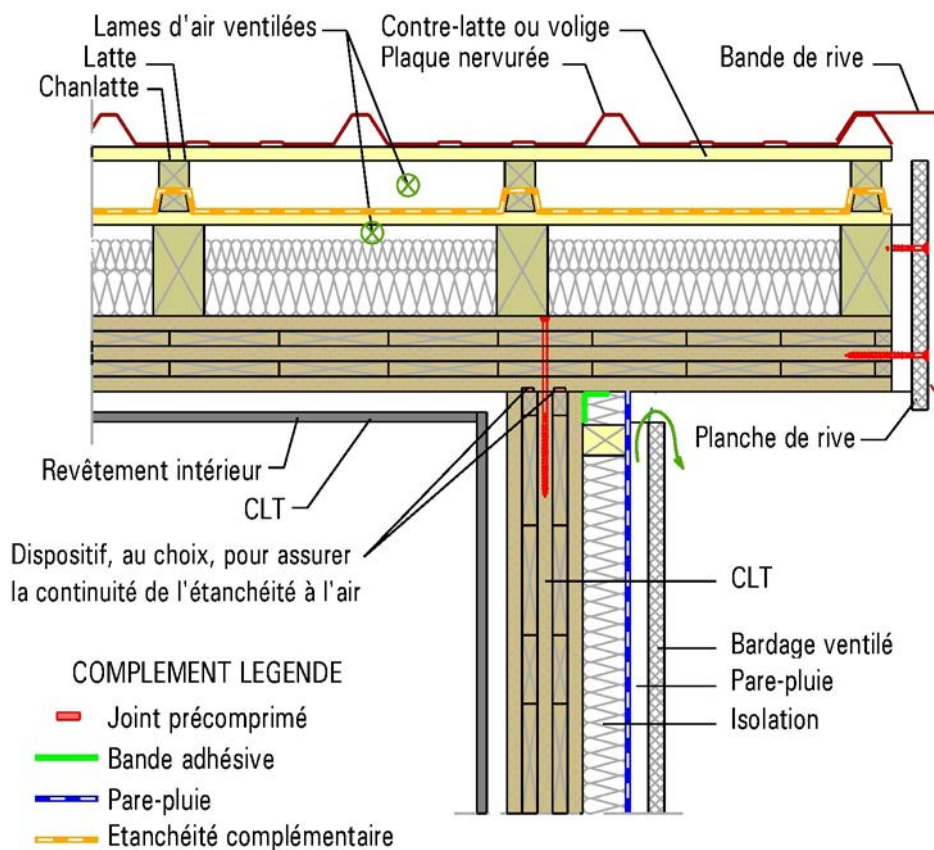
COMPLEMENT LEGENDE

— Ecran sous-toiture

— Joint précomprimé

— Bande adhésive

▲ Figure 118 : Couverture par bardeaux bituminés – Passage de conduit



COMPLEMENT LEGENDE

— Joint précomprimé

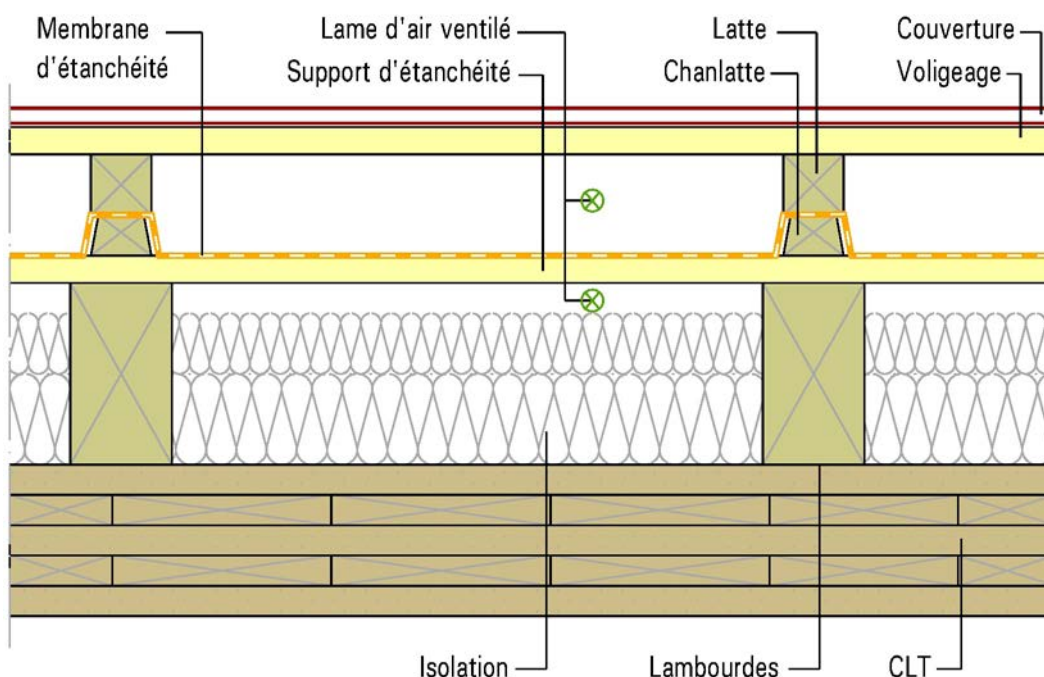
— Bande adhésive

— Pare-pluie

— Etanchéité complémentaire

▲ Figure 119 : Schéma de principe – Climat de montagne – Débord de toiture

Couvertures en toiture froide en climat de montagne



▲ Figure 120 : Schéma de principe de la double toiture ventilée (climat de montagne)

Couverture en ardoise

Les ardoises naturelles ne sont pas autorisées en climat de montagne.

Couverture en bardeaux bituminés

La conception et la réalisation de la couverture en climat de montagne sont à envisager sur le principe de la double toiture ventilée.

Couverture en tuiles

Seules sont autorisées :

- les tuiles en béton à glissement et à emboîtement longitudinal suivant prescriptions du DTU 40.24 ;
- les tuiles plates en béton suivant DTU 40.25.

Couvertures en plaques nervurées

Une attention toute particulière doit être portée à la conception de la toiture en climat de montagne afin de réaliser une ventilation conforme aux exigences aux DTU de la série 40.3.

Couverture en feuilles et bandes métalliques

La conception traditionnelle de la toiture se fait suivant le principe de la toiture froide à double ventilation avec étanchéité complémentaire ventilée sur ses deux faces décrite dans les DTU de la série 40.4 et en

(Figure 5).

Couverture en tuiles métalliques

Compte tenu de leur caractère non traditionnel, ces toitures ne peuvent être envisagées que si le domaine d'application de l'Avis Technique ou du DTA du produit envisagé l'y autorise.

Mise en œuvre

Se référer également à la (Figure 120).

Généralités

Les types de couverture réalisables sur panneaux CLT en climat de montagne, suivant prescriptions des DTU associés, sont :

- les tuiles en béton à glissement et à emboîtement longitudinal (DTU 40.24) ;
- les tuiles plates en béton (DTU 40.25) ;
- les bardeaux bituminés (DTU 40.14) ;
- les grands éléments en feuilles et longues feuilles de zinc, d'acier inoxydable étamé, de cuivre ou de plomb (DTU 40.4*) ;
- les tôles d'acier nervurées (DTU 40.35).

Les éléments de couverture faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un DTA revendiquant une utilisation en climat de montagne sont également utilisables sur panneaux CLT.

La conception et la réalisation de couvertures en climat de montagne doivent suivre les préconisations du guide technique édité par le CSTB.

Complément d'étanchéité sur support continu

Il est nécessaire de réaliser une étanchéité complémentaire de sous-toiture, posée sur support continu et établie conformément aux dispositions prévues par le chapitre 2 Guide de réalisation du *Guide des couvertures en climat de montagne*.

Ventilation de la couverture et de l'étanchéité complémentaire, mise en œuvre de l'isolation thermique

La ventilation de la sous-face de la couverture doit être assurée dans tous les cas.

Si un isolant thermique est disposé le long du rampant sur le panneau CLT, un espace ventilé doit être ménagé entre la sous-face du support de l'étanchéité complémentaire et la surface de l'isolant.

Si l'isolant thermique est disposé sur le plancher du comble (non habitable), le comble doit être ventilé.

Dans tous les cas, les dispositifs appropriés doivent être prévus pour assurer une bonne ventilation :

- par pièces de ventilation en partie haute et basse du versant ;

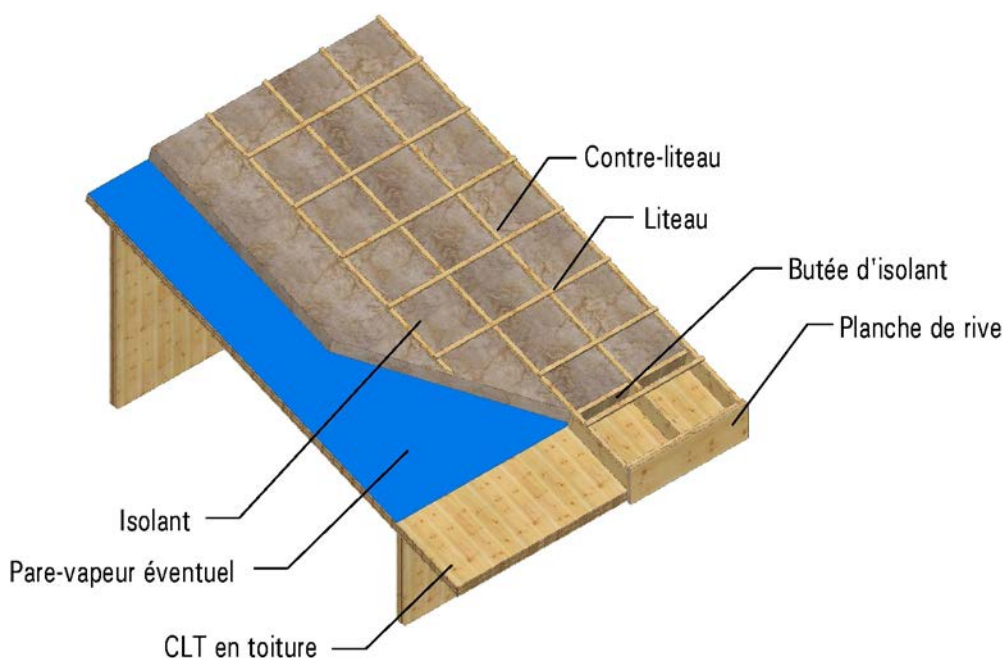


- par des entrées d'air à l'égout dans l'avant-toit, ou à l'aide du pied de versant ;
- par un faîtage ventilé assurant la sortie de l'air en haut de versant ;
- par une ou plusieurs cheminées de ventilation en haut de versant ;
- par des prises d'air en pignons, lorsque la largeur de la toiture n'excède pas 12 m (sans obstacle à la ventilation dans le comble) ;
- par la suppression de tout obstacle à la ventilation dans le comble.

6.8.3.2. • Isolation continue (sarking) support de couvertures

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

- parement plafond rapporté ou non en sous face du panneau ;
- panneau CLT ;
- pare-vapeur ;
- isolant ;
- lame d'air ventilée sur l'extérieur ;
- couverture et éléments porteurs associés.



▲ Figure 121 : Schéma de principe de pose en sarking

Dans ce cadre, les panneaux CLT laissés nus font office de plafond.

Les isolants pourront être posés de manière continue (technique sarking) sur les panneaux CLT (hors recoupement en (ERP)). On se



référer alors impérativement aux Avis Techniques des produits validés pour la mise œuvre suivant la technique sarking.

6.9. • Panneaux CLT support d'isolation et d'étanchéité

6.9.1. • Mise en œuvre directe des étanchéités sur panneaux CLT

Les panneaux CLT constituent le support direct du revêtement d'étanchéité, en respectant les prescriptions de la norme NF DTU 43.4. Peuvent être utilisées toutes les étanchéités faisant l'objet d'un Document Technique d'Application particulier favorable pour l'emploi sur élément porteur en bois.

Les revêtements d'étanchéité peuvent être mis en œuvre :

En indépendance

Les revêtements d'étanchéité mis en œuvre en indépendance, sont toujours sous une protection lourde rapportée, selon la NF DTU 43.4 P1 et les Documents Techniques d'Application particuliers des revêtements d'étanchéité.

En semi-indépendance

Selon le Document Technique d'Application particulier du support isolant éventuel et du revêtement d'étanchéité, les revêtements d'étanchéité mis en œuvre en semi-indépendance le sont :

- avec une sous-couche clouée (ou fixée mécaniquement) selon la NF DTU 43.4 P1 ;
- par collage à froid ;
- par autoadhésivité ;
- par soudage à la flamme à travers un écran perforé ;
- à l'aide d'attelages de fixation mécanique.

Ils peuvent aussi être mis en œuvre par toute autre technique visée favorablement par le Document Technique d'Application des panneaux isolants ou du revêtement d'étanchéité.

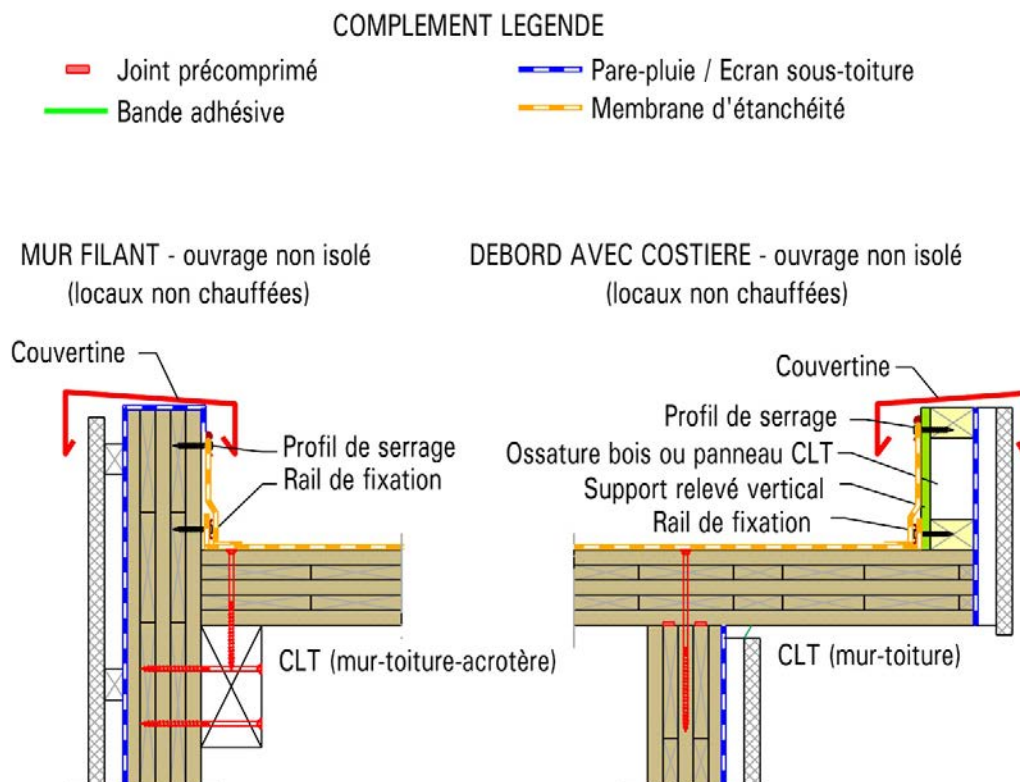
En adhérence totale

Selon le Document Technique d'Application particulier du support isolant éventuel et du revêtement d'étanchéité, les revêtements d'étanchéité mis en œuvre en adhérence totale le sont :

- par collage à froid ;
- par autoadhésivité ;

- par soudage à la flamme selon la NF DTU 43.4 P1.

Ils peuvent aussi être mis en œuvre par toute autre technique visée favorablement par le Document Technique d'Application des panneaux isolants ou du revêtement d'étanchéité.



▲ Figure 122 : Toiture froide (ventilée et non isolée) non accessible

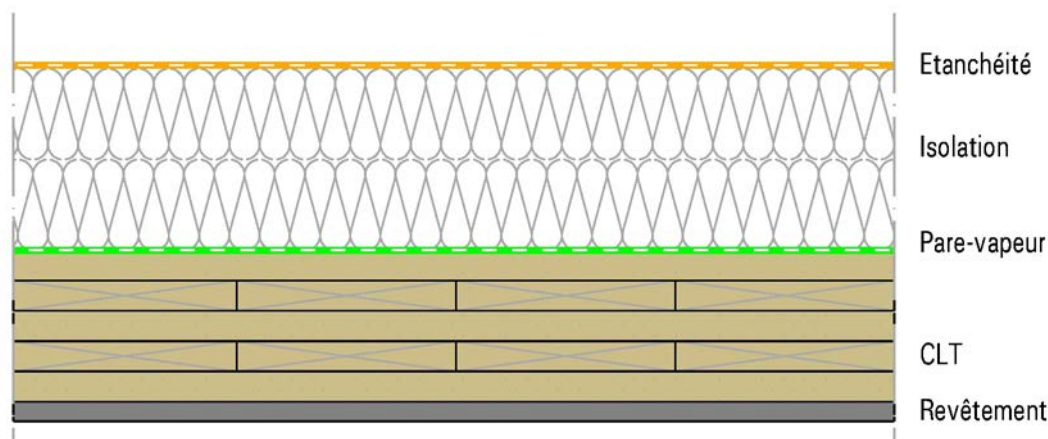
6.9.2. • Isolation continue support d'étanchéité continue support d'étanchéité

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

- parement plafond rapporté ou non en sous face du panneau ;
- panneau CLT ;
- pare-vapeur ;
- isolant (en toiture chaude) ;
- revêtement d'étanchéité ;
- protection.

La mise en œuvre des systèmes d'étanchéité est faite par les entreprises d'étanchéité qualifiées.

En aucun cas, les réservations et/ou les percements ne sont réalisés par le lot étanchéité. Cette interdiction ne concerne pas la pose des attelages de fixation mécanique des systèmes d'étanchéité (supports isolants, kits des systèmes souples d'étanchéités fixés mécaniquement, par exemple).



▲ Figure 123 : Principe

Pare-vapeur

Le pare-vapeur est mis en œuvre conformément :

- au NF DTU 43.4 P1 ;
- au document technique d'application du revêtement d'étanchéité visant favorablement l'élément porteur bois.

Il peut être posé :

- collé à l'EAC exempt de bitume oxydé et cité dans un DTA de revêtement d'étanchéité, avec bande de pontage entre panneaux ;
- fixé mécaniquement ;
- libre et sous protection rapportée, pour les surfaces et les dépressions au vent extrême autorisées par le document technique d'application des panneaux isolants ;
- libre sous des panneaux isolants et/ou un revêtement d'étanchéité, fixés mécaniquement ;
- autoadhésif en semi-indépendance ou en adhérence totale, avec bande de pontage entre panneaux selon le document technique d'application du revêtement d'étanchéité ;
- par toute autre technique visée favorablement par le document technique d'application des panneaux isolants et celui du revêtement d'étanchéité, pour autant que le document technique d'application vise l'élément porteur bois.

Isolant

Peuvent être utilisés tous les isolants faisant l'objet de documents techniques d'application particuliers favorables pour cet emploi, pour autant qu'ils visent la pose sur élément porteur en bois.

En un ou plusieurs lits, ils peuvent être posés :

- collés à l'EAC, selon le NF DTU 43.4 P1 et le document technique d'application particuliers des panneaux isolants ;
- fixés mécaniquement, selon le NF DTU 43.4 P1 et le document technique d'application particuliers des panneaux isolants ;
- libres et sous protection rapportée, pour les surfaces et dépressions au vent extrême autorisées par le document technique d'application des panneaux isolants ;
- collés à froid, sous protection lourde et en système autoprotégé, selon les documents techniques d'application particuliers des panneaux isolants et des revêtements d'étanchéité ;
- par toute autre technique visée favorablement par le document technique d'application des panneaux isolants et celui du revêtement d'étanchéité, pour autant que le document technique d'application vise l'élément porteur bois et panneaux dérivés du bois.

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 en bois.

Les revêtements d'étanchéité peuvent être mis en œuvre :

En indépendance

Lorsqu'ils sont mis en œuvre en indépendance, les revêtements le sont toujours sous une protection lourde rapportée, selon le NF DTU 43.4 P1 et les documents techniques d'application particuliers des revêtements d'étanchéité.

En semi-indépendance

Lorsqu'ils sont mis en œuvre en semi-indépendance, les revêtements le sont :

- avec une sous-couche clouée (ou fixée mécaniquement) selon le NF DTU 43.4 P1 ;
- par collage à l'EAC à travers une couche de semi-indépendance ;
- par collage à froid ;
- par autoadhésivité ;
- par soudage à la flamme à travers un écran perforé ;

- à l'aide d'attelages de fixation mécanique.
- ou par toute autre technique visée favorablement par le document technique d'application des panneaux isolants ou du revêtement d'étanchéité.

En adhérence totale

Lorsqu'ils sont mis en œuvre en adhérence totale, les revêtements le sont :

- par collage à l'EAC selon le NF DTU 43.4 P1 ;
- par collage à froid ;
- par autoadhésivité ;
- par soudage à la flamme selon le NF DTU 43.4 P1 ;
- ou par toute autre technique visée favorablement par le document technique d'application des panneaux isolants ou du revêtement d'étanchéité.

Fixations

Le choix et le dimensionnement des connecteurs permettant de fixer les composants formant le complexe d'étanchéité sur les panneaux CLT se font suivant les préconisations des DTA et des Avis Techniques des produits associés. À cette fin, le panneau CLT est considéré comme du bois massif et les connecteurs sélectionnés devront présenter une résistante caractéristique dans le bois massif conforme aux valeurs préconisées dans les documents précités.

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'étanchéité 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.

Évacuation des eaux pluviales

Comme pour tous les supports en bois conformes au NF DTU 43.4 sur pannes, l'implantation des dispositifs d'évacuation des eaux pluviales devra être conçue et réalisée conformément à l'annexe E du NF DTU 43.3 P1-1.

Reliefs

Les reliefs peuvent être réalisés en continuité des panneaux CLT de toiture (élément porteur des parties courantes).

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



Les règles de dimensionnement doivent être conformes aux préconisations du DTU 43.4, § 8.2.

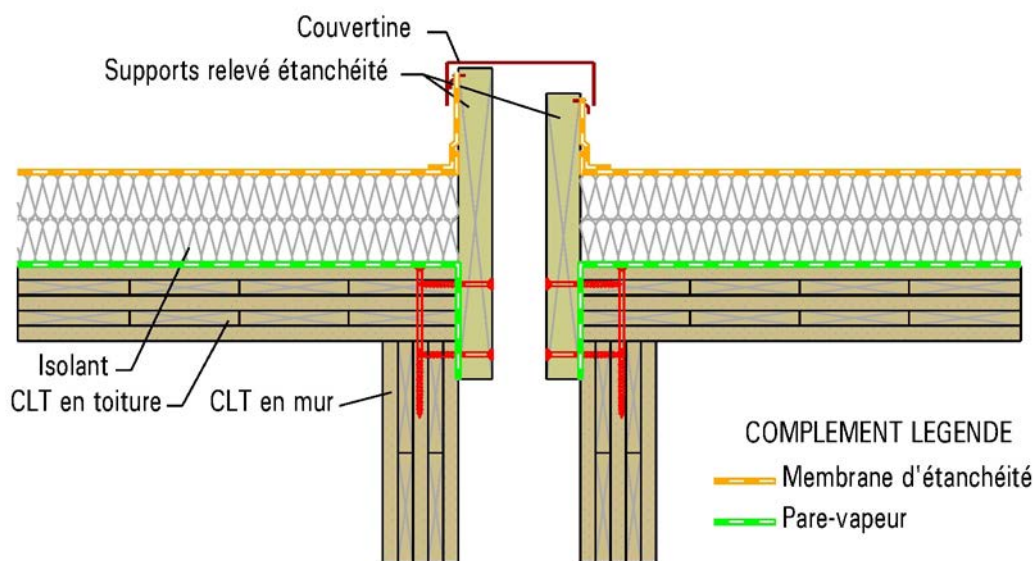
La mise en œuvre des panneaux CLT, des reliefs (acrotères, costières, etc.) et des pièces complémentaires (joint languette, chevron de fonçure, bande métallique, etc.), est faite par le lot structure (ou charpente, ou gros œuvre).

Les panneaux sont livrés sur site avec l'ensemble de leurs réservations (lanterneaux, sorties hors toiture, entrées d'eaux pluviales, etc.).

L'entreprise de pose doit s'appuyer sur l'assistance technique du fournisseur de panneaux.

Tout percement réalisé pendant le chantier, et quelles que soient ses dimensions, ne peut être réalisé que par le lot structure (ou charpente, ou gros œuvre) et uniquement après accord du bureau d'études de structure. Les réservations et/ou les percements ne peuvent pas être réalisés par un autre corps d'état.

Les reliefs sont revêtus d'un bardage étanché à l'eau. Le relevé d'étanchéité reçoit en tête un dispositif d'écartement des eaux de pluie.

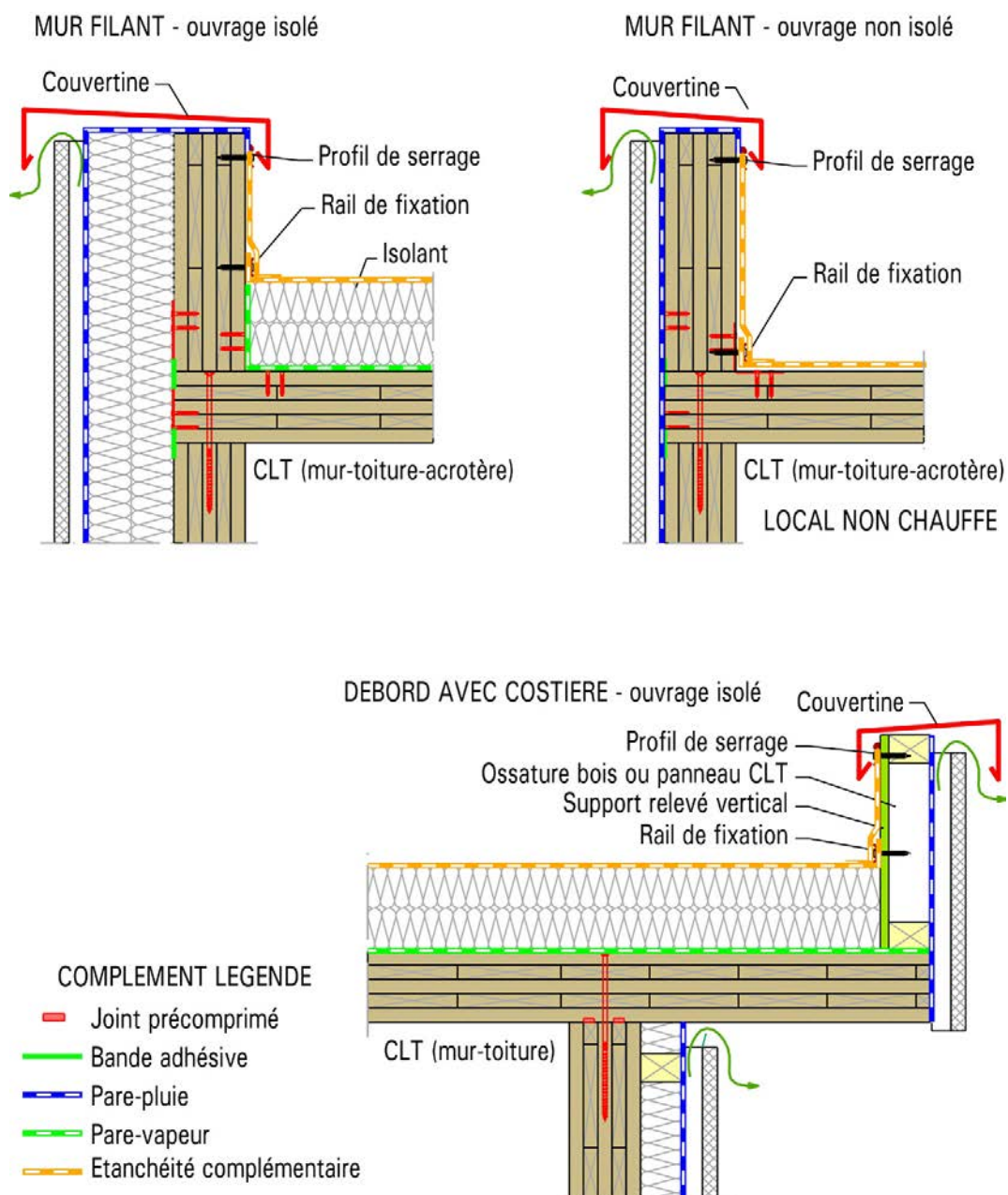


▲ Figure 124 : Joint de dilatation avec costière en bois

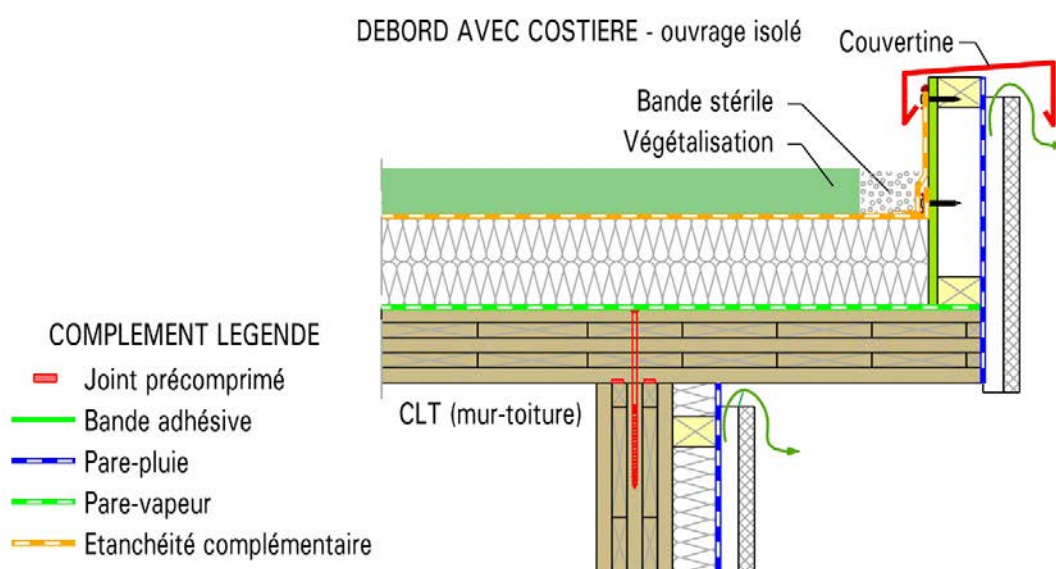
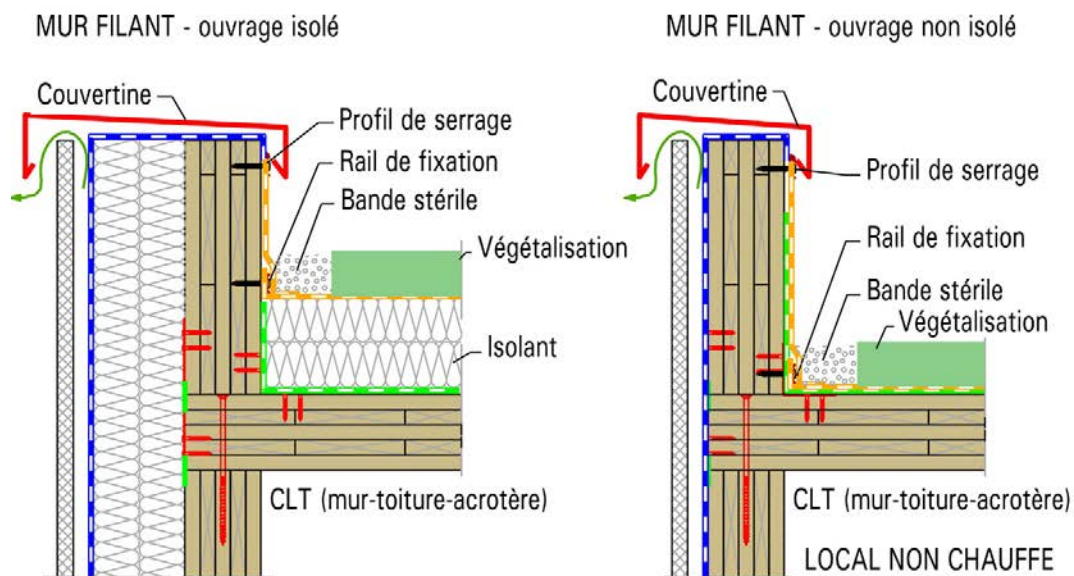
Ouvrages particuliers

Les ouvrages particuliers (noues, faîtages, arêtières, rives et égouts, chéneaux, traversées de toitures, etc.) sont réalisés conformément au NF DTU 43.4, complété par les documents techniques d'application des revêtements d'étanchéité ou l'Avis Technique du procédé de végétalisation.

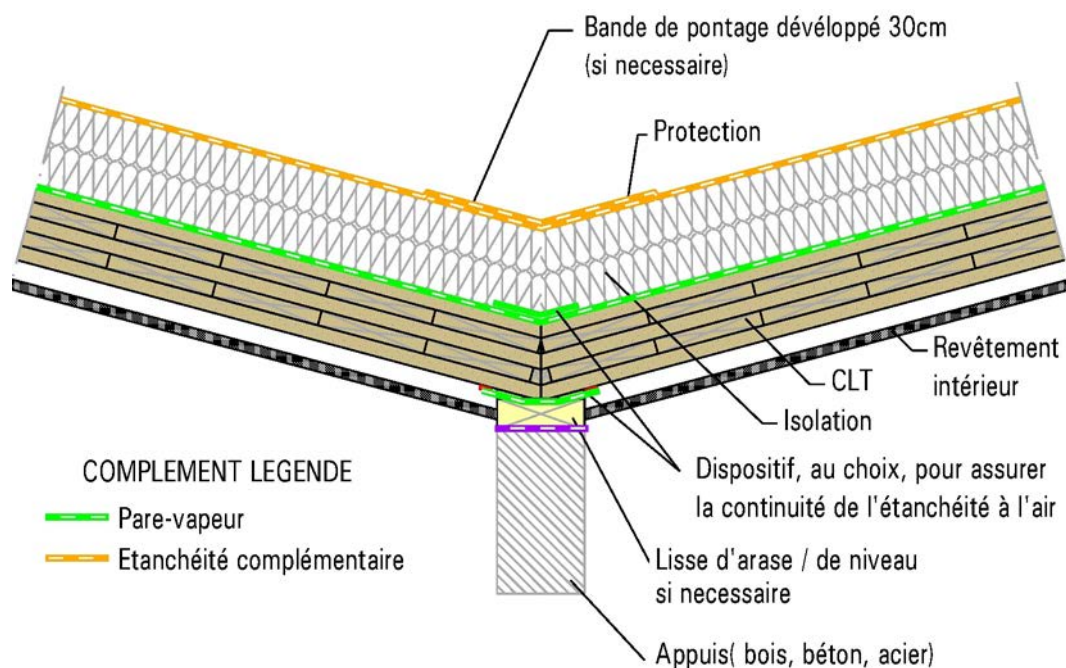
Les figures ci-après illustrent les points singuliers couramment rencontrés.



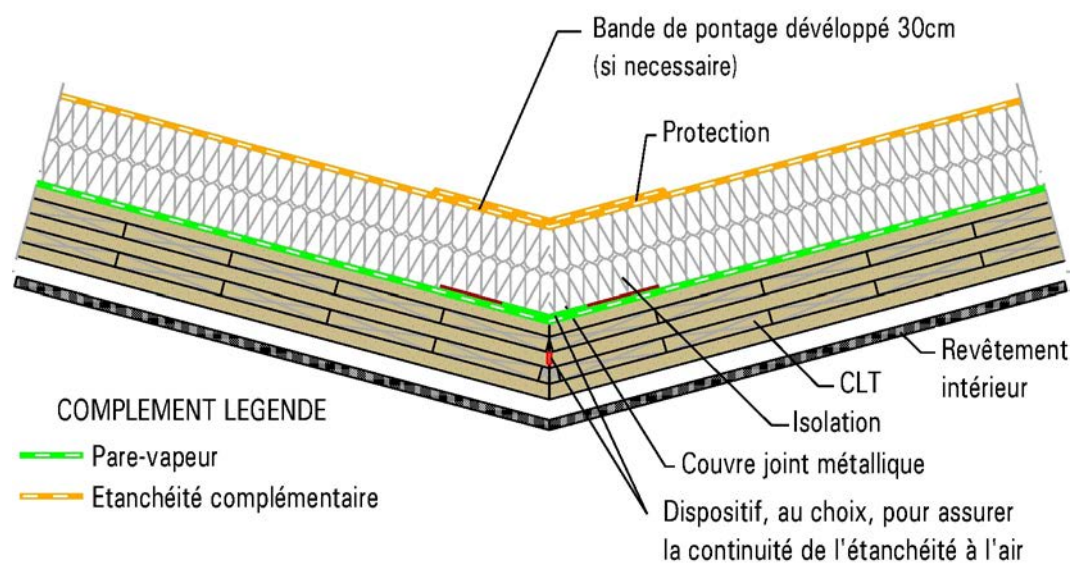
▲ Figure 125 : Toiture non accessible. Étanchéité autoprotégée



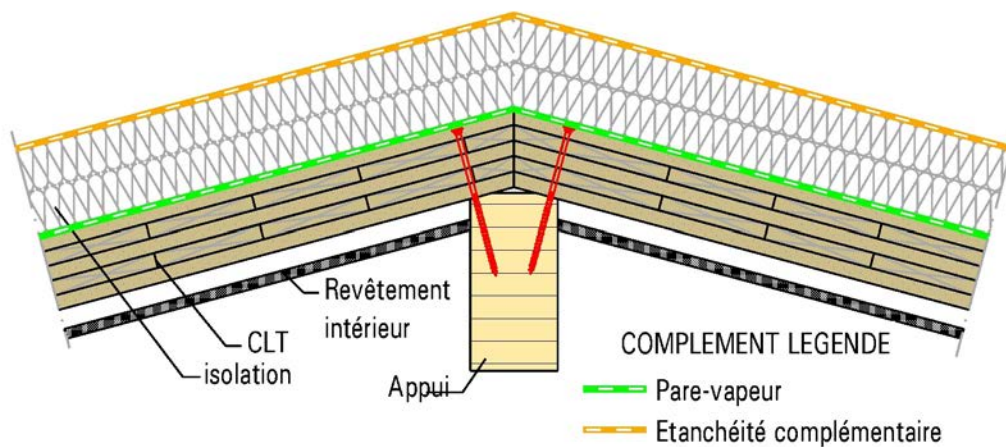
▲ Figure 126 : Toiture végétalisée non accessible



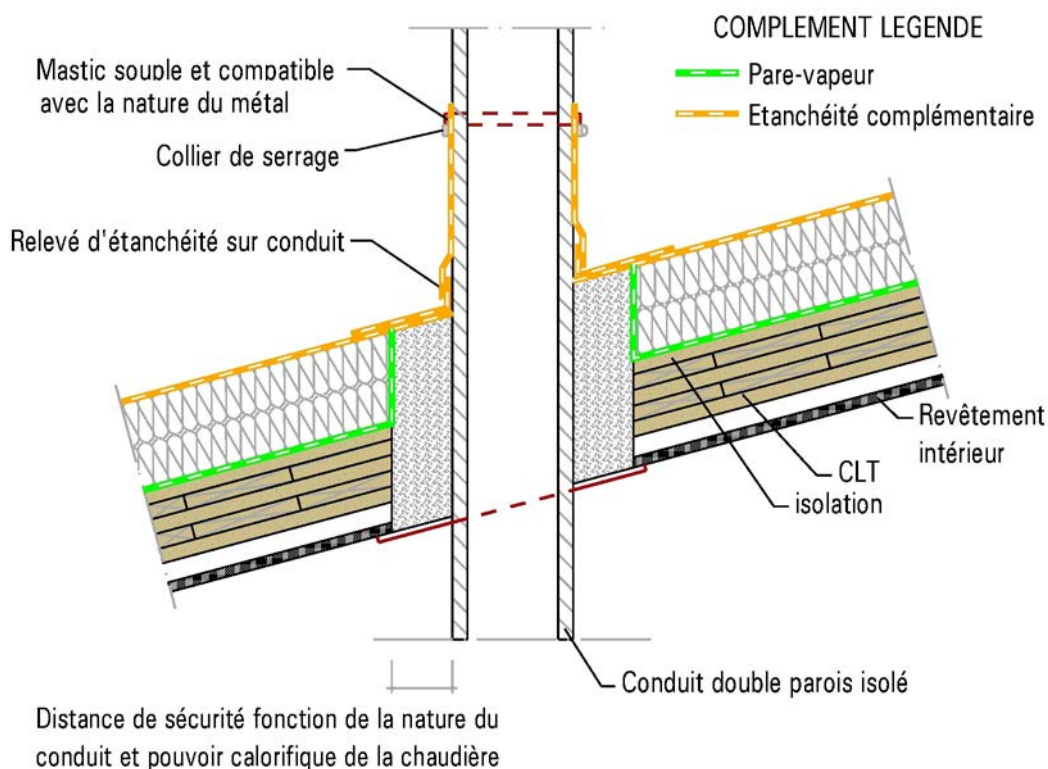
▲ Figure 127 : Noue centrale appuyée



▲ Figure 128 : Noue centrale non appuyée. Pente $\geq 1,5 \%$



▲ Figure 129 : Faîtage. Arêtier



▲ Figure 130 : Traversée de toiture. Passage de conduit

Toitures-terrasses végétalisées

La réalisation de toitures-terrasses végétalisées doit se faire conformément aux règles professionnelles TTV sans toutefois qu'il soit nécessaire de prendre en compte la surcharge de 85 daN/m² puisque le fluage l'est déjà dans leur dimensionnement dès que :

- le dimensionnement des panneaux CLT est réalisé en considérant une charge permanente de végétalisation à capacité maximale en eau, indiquée dans l'Avis Technique du procédé de végétalisation ;
- la vérification des déformations prend en compte le fluage des panneaux.

Dans le cas de terrasses et toitures végétalisées, les charges de capacité maximale en eau (CME) du système de végétalisation devront être prises en compte. Ces charges sont indiquées dans l'Avis Technique du procédé de végétalisation.

À destination des terrasses et toitures végétalisées comprenant :

- des panneaux isolants posés libres ;
- et/ou un revêtement d'étanchéité indépendant en feuilles bitumineuses ou en membrane synthétique ;

Le revêtement et la protection végétalisée devront bénéficier d'un Avis Technique visant la pose en indépendance des deux produits.

Toitures-terrasses en climat de montagne

Seuls peuvent être utilisés les isolants et les revêtements d'étanchéité faisant l'objet d'un Avis Technique et d'un DTA visant favorablement leur utilisation en climat de montagne.

La toiture est conçue en respectant les prescriptions du *Cahier du CSTB* n° 2267-2 « Guide des toitures-terrasses et toitures avec revêtements d'étanchéité en climat de montagne », complété par le document technique d'application particulier des revêtements d'étanchéité.

Les acrotères sont isolés sur leurs deux faces.

6.9.3. • Isolation inversée sur étanchéité

Les procédés CLT visent également les toitures-terrasses inaccessibles en isolation inversée lorsqu'ils sont associés à un panneau isolant de polystyrène extrudé bénéficiant d'un document technique d'application.

La pente maximale de la toiture est de 5 %.

Les panneaux isolants en polystyrène extrudé sont posés sur le revêtement d'étanchéité, en un seul lit, libres, à joints serrés, décalés dans un seul sens, et en respectant le recouvrement des feuillures alternées.

Remarque

Les tolérances dimensionnelles des panneaux et la précision des découpes peuvent entraîner un léger jeu aux jonctions.

Ils sont mis en œuvre sur le revêtement d'étanchéité :

- directement dans le cas d'un revêtement bicouche en bitume SBS avec autoprotection minérale ;
- sur couche de désolidarisation dans le cas d'un revêtement bicouche bitume SBS sans autoprotection. Cette couche est posée à recouvrement de 0,10 m environ.

Les protections sont celles définies dans le document technique d'application des panneaux isolants de la toiture inversée (gravillons, dalles sur couche de désolidarisation, végétalisation).

6.10. • *Isolation et finitions*

6.10.1. • Finitions extérieures

6.10.1.1. • *Définitions*

Bardages rapportés avec ou sans isolation

Un bardage rapporté est constitué d'une ossature fixée au mur support et d'éléments manufacturés de parement fixés sur l'ossature : écailles, ardoises, bardeaux, tuiles, clins, plaques, etc.

Les principaux matériaux rencontrés sont les suivants : aluminium, acier ou zinc, amiante-ciment, ardoise, béton, enduit, mortier, bois, stratifiés et dérivés, céramique, méthacrylate (mortier), polyester (mortier et stratifié), PVC, terre cuite, etc.

Une lame d'air continue d'au moins 2 cm d'épaisseur est ménagée en face arrière de la peau extérieure.

L'ossature peut être en bois, en acier, en aluminium, mixte (bois + métal), etc. Elle est fixée au mur soit par des vis traversantes, soit, le plus souvent, par des pattes métalliques chevillées au mur.

L'isolant le plus utilisé est la laine minérale en feutres (panneaux ou rouleaux) semi-rigide non hydrophile. Il est en général fixé au mur support au moyen d'ancres en plastique.

Vêtures

Une vêtiture est un système non traditionnel à base de composants associant un parement et un isolant.

Ces composants sont fixés mécaniquement à la structure porteuse au moyen de fixations traversantes (vis et chevilles), de pattes ou de profilés.

L'isolant thermique le plus utilisé est le polystyrène expansé moulé. Certains systèmes utilisent également de la laine minérale, de la mousse de polyuréthane ou du polystyrène extrudé.

Les matériaux utilisés en peau externe sont généralement similaires à ceux des bardages rapportés.

Les joints entre éléments sont le plus souvent ouverts ; des dispositions sont alors prévues pour assurer l'étanchéité à l'eau.

Vêtages avec isolation

Un vêtage avec isolation est un système non traditionnel consistant à fixer mécaniquement par-dessus un isolant, en face externe d'un mur, des éléments manufacturés sans ossature ou avec ossature appliquée sur l'isolation.

Les éléments peuvent être des écailles, des dalles, des plaques, des bardeaux ou des clins. Ils sont fixés au travers d'une isolation thermique constituée de panneaux, collés ou fixés mécaniquement au mur (vis chevillées avec rondelle, le plus souvent).

La fixation de l'isolant n'a en général qu'un rôle de maintien provisoire, la fixation du vêlage assurant la fixation définitive. L'isolant utilisé est généralement rigide.

Revêtements attachés en pierre mince avec isolation

Définis dans le DTU 55.2, ces revêtements sont constitués de pierres minces posées sur pattes ou d'attaches avec ergots. Ils sont en général portés et à joints ouverts. Ils peuvent aussi être autoporteurs (épaisseur nominale 7 cm et pose sur assise) et à joints garnis au mortier de ciment. Les pattes sont scellées ou chevillées au support. L'isolation thermique est généralement réalisée au moyen de feutres semi-rigides non hydrophiles de laine minérale. Une lame d'air d'au moins 2 cm est ménagée entre l'isolant et la pierre.

6.10.1.2. • Principes, solutions visées et limitations

Parmi les familles de finitions extérieures énoncées *supra*, seules les solutions faisant appel à des techniques de revêtement par bardage rapporté avec ou sans isolation sont traitées dans ce guide.

Ainsi, les revêtements extérieurs visés ici sont ceux qui respectent les prescriptions des référentiels de mise en œuvre suivants :

- revêtements extérieurs en bois, en panneaux de contreplaqué avec finition, bardeaux de bois et leur mise en œuvre conformes aux prescriptions de la NF DTU 41.2
- bardage rapporté en bardeaux bitumés, NF DTU 40.14 ;
- bardage rapporté en ardoises naturelles, NF DTU 40.11 ;
- bardage rapporté en ardoises de fibres-ciment, NF DTU 40.13 ;
- bardage rapporté en feuilles de zinc supportées, NF DTU 40.41 ;
- bardage rapporté en feuilles d'acier inoxydable supportées, NF DTU 40.44 ;
- bardage rapporté en plaques métalliques à nervures verticales, NF DTU 40.35 et règles professionnelles « bardage métallique » du SNPPA (janvier 1981) ;
- murs de doublage en maçonnerie avec lame d'air selon la NF DTU 20.1 avec les dérogations du DTU 31.2, partie 1.1 ;
- bardages rapportés selon d'autres techniques que celles détaillées ci-dessus permettant des rendus de divers, selon les prescriptions de l'Avis Technique ou du document technique d'application du procédé de bardage rapporté.

On considère que, dans les classes d'emploi visées dans le domaine d'application du présent guide, l'eau liquide ne peut en aucun cas atteindre le mur CLT.

Ainsi, selon ce principe, pour raisonner par analogie par rapport à la NF DTU 20.1 P3 « Classement des murs en fonction de leur résistance à la pluie » et au *Cahier du CSTB* n° 1833 « Systèmes d'isolation thermique des façades par l'extérieur faisant l'objet d'un Avis Technique », en désignant toutefois comme élément vulnérable le mur support et non le complexe de doublage intérieur, la performance d'étanchéité à l'eau doit être assurée en amont du panneau CLT, côté revêtement.

Dès lors, si l'on utilise le vocabulaire du *Cahier du CSTB* n° 1833, les murs ainsi constitués doivent être de type XII ou XIV avec des procédés de finitions extérieures devant respectivement réaliser :

- type XII une étanchéité à l'eau grâce au système complet (peau + matériau-écran + isolant sans faire intervenir le mur support) ;
- type XIV une étanchéité à l'eau grâce à l'étanchéité de la peau prise isolément.

Pour ce qui concerne les techniques de fixation des procédés de bardage sur les murs supports, ils relèvent des prescriptions essentiellement des *Cahiers du CSTB* n° 1833 et n° 3585 V2.

Les solutions de revêtements extérieurs retenues se fixent donc sur des supports qui sont solidarisés à la structure porteuse en panneau CLT soit en contact direct par fixation traversante, soit à l'aide de pattes-équerrés qui permettent, compte tenu des tolérances du mur support, un réglage d'adaptation pour obtenir la planéité du parement.

Bien entendu, ces techniques devront être justifiées vis-à-vis des risques sismiques sur des supports de cette nature selon, par exemple, le *Cahier du CSTB* n° 3533 V2.

En outre, la performance des solutions devra aussi être vérifiée sur les critères de résistance au choc de conservation des performances suivant la norme NF P08-302 et vis-à-vis du risque de propagation du feu par les façades ; pour les établissements recevant du public vis-à-vis des exigences de l'arrêté du 26 juin 1980 art. CO19-C021 et de l'IT 249, pour des projets de bâtiment d'habitation neufs vis-à-vis de l'arrêté du 31 janvier 1986.

6.10.2. • Finitions Intérieures

6.10.2.1. • Principes et solutions visées

Les solutions de finitions intérieures par type de paroi traitée dans ce guide sont réparties comme suit :

- finitions verticales : pour les murs et refends ;
- finitions horizontales face inférieure : pour les planchers ;

- finitions horizontales face supérieure : pour les planchers.

On référencera ensuite les solutions retenues dans ce guide en citant les référentiels de mise en œuvre.

6.10.2.2. • *Exemple de solution de finitions verticales (murs et refends)*

Les solutions de traitement vertical retenues sont décrites dans les paragraphes suivants.

Panneau CLT laissé visible

Au moins pour les plis visibles, le panneau CLT doit être constitué de plis dont la qualité visuelle permet cette possibilité.

Le produit de finition est une peinture ou un verni dont la mise en œuvre est visée par la norme NF DTU 59.1. Il y a lieu de s'assurer de la compatibilité de la finition avec le produit de traitement de préservation. En ce qui concerne leur mise en œuvre, les préconisations d'emploi données par la fiche technique du produit sont en adéquation avec :

- les normes NFT34-202 et EN 92-1 ;
- les prescriptions de la norme NF P74-201-1 et NF P74-2012 (DTU 59-1) relatives à la préparation des supports et à l'application du produit pour des supports en bois ;
- les produits de type lasure ou peinture à usage extérieur doivent répondre à la définition et à la classification spécifiée dans l'EN 927-1.

Selon la norme NF EN 13501-1, le support CLT brut bénéficie d'un classement conventionnel en réaction au feu D-s2, d0. Il convient cependant de vérifier l'adéquation de la réaction au feu de la solution obtenue avec les exigences réglementaires après application de la finition (attention aux ERP, par exemple). À ce titre, certains produits de finition capables d'améliorer la réaction au feu du support bénéficient de PV de classement en réaction au feu sur des supports bois.

Enfin, dans ce cas, les cheminements et implantations des réseaux devront avoir été anticipés très en amont.

Panneau CLT doublé en intérieur

Le doublage du panneau CLT peut être réalisé suivant l'un des procédés donnés ci-après.

Les doublages en plaques de plâtre doivent être réalisés selon la norme NF DTU 25.41. Il est possible d'appliquer les dérogations proposées dans le DTU 31.2. Les doublages peuvent être mis en œuvre de manière :

- solidaire sur tasseau en bois avec ou sans isolant ;

- solidaire sur profilé métallique avec ou sans isolant selon le DTU 25.41 ;
- dissociée sur structure en bois autostable avec ou sans isolant ;
- dissociée sur structure métallique autostable avec ou sans isolant.

Les complexes de type isolant + plaque de plâtre doivent être réalisés selon la norme NF DTU 25.42. Seule la pose sur ossature en bois ou métallique est envisagée dans le présent document.

Les revêtements en panneaux dérivés du bois ou en lambris bois doivent être réalisés selon la norme NF DTU 31.2 et NF DTU 36.1

- solidaire sur tasseau en bois avec ou sans isolant ;
- solidaire sur profilé métallique avec ou sans isolant ;
- dissocié sur structure en bois autostable avec ou sans isolant ;
- dissocié sur structure métallique autostable avec ou sans isolant.

Les revêtements intérieurs de type lambris sont réalisés à partir de bois non structuraux qui doivent satisfaire à la norme NF EN 942. En l'absence de données définies par le CCTP et/ou par des normes produits (lames à parquet, lambris, etc.), les classements d'aspect des bois sciés non structuraux visibles sont définis par les normes NF EN 1611-1 pour les principaux résineux, et NF EN 975 pour les principaux feuillus. Les classements d'aspect des bois ronds visibles sont définis par les normes NF EN 1927-1 à 3 pour les principaux résineux et NF EN 1316-1 à 3 pour les principaux feuillus. Si les bois de menuiserie comportent des aboutages, leur collage doit résister à l'humidité et les colles utilisées doivent être conformes à la norme NF EN 204.

6.10.2.3. • *Finitions horizontales face inférieure (sous-face de plancher)*

Panneau CLT laissé visible

Les recommandations sont identiques à celles proposées pour les finitions verticales.

Plafond non démontable

Relevant du DTU 25.41, le plafond non démontable est soit fixé en sous-face du panneau CLT avec des dispositifs de suspentes et des fourrures, soit, si la conception du plancher le prévoit, fixé de façon totalement désolidarisée du CLT. Il est alors fixé contre les flancs des sous-poutres supportant le plancher en panneau CLT grâce à un réseau de structures primaires reprenant les fourrures servant d'appui aux plaques de finition. Un isolant peut être mis en œuvre dans le plénum pour des raisons acoustiques, thermiques ou incendiaires.

Plafond démontable

Les plafonds démontables peuvent être de deux types :

- plafonds suspendus, relevant du DTU 58.1 ;
- plafonds tendus, relevant du DTU 58.2.

Revêtement en panneaux dérivés du bois ou en lambris bois

Les recommandations sont identiques à celles proposées pour les finitions verticales.

6.10.2.4. • Exemple de solution de finitions horizontales face supérieure (planchers)

Panneau CLT recevant directement le revêtement de sol

Ces solutions ne sont pas envisageables si une performance acoustique est recherchée.

- Revêtements de sol textiles relevant de la norme NF DTU 53.1 : le panneau CLT doit répondre aux exigences la norme NF DTU 51.3, qu'il s'agisse de la nature des planchers supérieurs des panneaux CLT ou de la mise en œuvre des panneaux CLT.
- Revêtements de sol en plastique collés relevant de la norme NF DTU 53.2 : les conditions d'application de ce type de solution peuvent être identiques à celle proposée pour les revêtements de sol textiles.
- Parquets relevant des normes NF DTU 51.1, 51.2 et 51.11 : le panneau CLT doit répondre aux exigences de la norme NF DTU 51.3, laquelle spécifie les dispositions en matière de tolérances de planéité et de désaffleurements.
- Revêtements durs scellés relevant de la norme NF DTU 52.1 : se reporter au guide RAGE concernant les « Chapes et dalles sur planchers bois » pour les conditions de mise en œuvre. Les carrelages peuvent également être mis en place en pose désolidarisée sur un procédé faisant l'objet d'un Avis Technique visant les supports bois.

Panneau CLT recevant un support de revêtement de sol

- Chape à base de liants hydrauliques relevant de la norme NF DTU 26.2 : se reporter au guide RAGE concernant les « Chapes et dalles sur planchers bois » pour les conditions de mise en œuvre. Pour les procédés de chape sous Avis Technique, il convient de se référer à chaque Avis Technique pour connaître l'ensemble des préconisations à prendre en compte. En outre, les solutions CLT étant souvent visibles en sous-face, on pourra

avoir recours à un principe de ravaillage explicité dans la NF DTU 52.1 pour passer des réseaux. Par ailleurs, cette solution peut présenter un intérêt au niveau acoustique et pour le renforcement de l'inertie thermique.

- Planchers en bois ou en panneaux à base de bois relevant du DTU 51.3 : ces supports sont ensuite capables de recevoir différents types de solutions de finition qui sont décrits dans ce document. En outre, les solutions CLT étant souvent visibles en sous-face, on peut avoir recours au vide de construction ménagé par cette solution pour passer des réseaux.
- Planchers surélevés (à libre accès) relevant de la norme NF DTU 57.1 : ces supports, en général plutôt destinés à des projets tertiaires, comprennent la finition ou sont ensuite capables de recevoir différents types de solutions de finition qui sont décrits dans ce document.

Références

7



Matériaux

- EN 14081-1
- EN 338
- NF EN 335-1 et la NF EN 335-2
- NF EN 350-2
- NF EN 15228
- EN 301 et EN 15425
- NF EN 14592
- NF EN 14545
- NF EN 10025-1 à 6
- NF EN 14374 ou à la NF EN 14279
- NF EN 13986
- NF EN 14967
- NF EN 12310-1
- NF EN 14909
- NF EN 12310-1
- NF P 85-570
- NF EN ISO 4042
- NF EN 10346
- NF EN 13811
- NF EN 10088-3

Finitions

- NF EN 520
- NF EN 12467
- NF EN 13950
- NF EN 942
- NF EN 1611-1
- NF EN 975
- NF EN 1927-1 à 3
- NF EN 1316-1 à 3
- NF EN 204
- l'EN 927-1
- NFT34-202

DTU

- NF DTU 25.41 (P72-203) : Ouvrages en plaques de plâtre – Plaques à faces cartonnées – Partie 1-1 : Cahier des clauses techniques types, décembre 2012.
- NF DTU 26.2 (P14-201) : Chapes et dalles à base de liants hydrauliques – Partie 1-1 : Cahier des clauses techniques types, avril 2008.
- NF DTU 31.2 (P21-204) : Travaux de bâtiment – Construction de maisons et bâtiments à ossature en bois – Partie 1-1 : Cahier des clauses techniques types, janvier 2011.
- NF DTU 36.5 (P20-202) : Travaux de bâtiment – Mise en œuvre des fenêtres et portes extérieures – Partie 1-1 : Cahiers des clauses techniques types, avril 2010.
- NF DTU 40.11 (P32-201) : Couverture en ardoises – Partie 1 : Cahier des charges, mai 1993.
- NF DTU 40.13 (P32-202) : Couverture en ardoises en fibres-ciment – Partie 1-1 : Cahier des clauses techniques types, décembre 2009.
- NF DTU 40.14 (P39-201) : Couverture en bardeaux bitumés, Partie 1 : Cahier des clauses techniques, mai 1993.
- NF DTU 40.35 (P34-205) : Couverture en plaques nervurées issues de tôles d'acier revêtues – Partie 1 : Cahier des clauses techniques, mai 1997.
- NF DTU 40.41 (DTU P34-211) : Couverture par éléments métalliques en feuilles et longues feuilles en zinc – Partie 1 : Cahier des clauses techniques, septembre 2004.

- NF DTU 40.44 (P34-214) : Couverture par grands éléments en feuilles et bandes en acier inoxydable – Partie 1-1 : Cahier des clauses techniques, juillet 2007.
- NF DTU 41.2 (P65-210) : Revêtements extérieurs en bois – Partie 1 : Cahier des clauses technique, juillet 1996, modifié par l'amendement A1 de novembre 2001.
- NF DTU 51.1 (P63-201) : Pose des parquets à clouer – Partie 1-1 : Cahier des clauses techniques types, décembre 2010.
- NF DTU 51.11 (P63-204) : Pose flottante des parquets contrecollés et revêtements de sol à placage bois – Partie 1-1 : Cahier des clauses techniques, décembre 2009.
- NF DTU 52.2 (P61-204) : Pose collée des revêtements céramiques et assimilés – Partie 1-1-1 : Cahier des clauses techniques types pour les murs intérieurs (P61-204-1-1-2), décembre 2009. Partie 1-1-2 : Cahier des clauses techniques types pour les murs extérieurs (P61-204-1-1-2), décembre 2009. Partie 1-1-3 : Cahier des clauses techniques types pour les sols intérieurs et extérieurs (P61-204-1-1-3), décembre 2009.
- NF DTU 53.1 (P62-202) : Revêtements de sol textiles – Partie 1 : Cahier des clauses techniques, avril 2001.
- NF DTU 53.2 (P62-203) : Revêtements de sol plastiques collés – Partie 1-1 : Cahier des clauses techniques, avril 2007.
- NF DTU 54.1 (P62-206) : Revêtements de sol coulés à base de résine de synthèse – Partie 1-1 : Cahier des clauses techniques, janvier 2008.
- NF DTU 58.1 (P68-203) : Plafonds suspendus - Partie 1-1 : Cahier des clauses techniques types, décembre 2008.
- NF DTU 58.2 (P69-002) : Plafonds tendus – Partie 1-1 : Cahiers des clauses techniques, décembre 2007.
- DTU 59-1 (P74-201) : Revêtements de peinture en feuil mince, semi-épais, ou épais Partie 1-1 : Cahier des clauses techniques types (P74-201-1-1), juin 2013 Partie 1-2 : Critères généraux de choix des matériaux (P74-201-1-2), juin 2013 Partie 2 : Cahier des clauses administratives spéciales types (P74-201-2), juin 2013.
- DTU 26.2/52.1 (NF P61-203) : Partie commune au DTU 26.2 et au DTU 52.1 – Mise en œuvre de sous-couches isolantes sous-chape ou dalle flottantes et sous carrelage, décembre 2004.

Thermique

- Arrêté du 26 octobre 2010 modifié relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments.

- Arrêté du 28 décembre 2012 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments autres que ceux concernés par l'article 2 du décret du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions.
- Arrêté du 20 juillet 2011 portant approbation de la méthode de calcul Th-B-C-E prévue aux articles 4, 5 et 6 de l'arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments.

Hygrothermique

- EN 1602
- NF EN 821-3
- NF EN 12667
- PR NF EN ISO 22007
- PR NF EN ISO 22007
- NF EN ISO 12572
- NF EN ISO 12571
- NF EN ISO 15148

Acoustique

- [1] NF EN ISO 10140-5 (mars 2013) : Acoustique – Mesure en laboratoire de l'isolation acoustique des éléments de construction – Partie 5 : Exigences relatives aux installations et appareillage d'essai.
- [2] NF EN 12354-1 (août 2000) : Acoustique du bâtiment – Calcul des performances acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments – Partie 1 : Isolement acoustique aux bruits aériens entre locaux.
- [3] NF EN 12354-2 (septembre 2000) : Acoustique du bâtiment – Calcul des performances acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments – Partie 2 : Isolement acoustique au bruit de choc entre locaux.
- [4] NF EN 12354-3 (juin 2000) : Acoustique du bâtiment – Calcul des performances acoustiques des bâtiments à partir de la performance des éléments – Partie 3 : Isolement acoustique aux bruits aériens venus de l'extérieur.

Structure



- NF EN 1995-1-1 (novembre 2005) – Eurocode 5 : Conception et calcul des structures en bois – Partie 1-1 : Généralités – Règles communes et règles pour les bâtiments – Modifié par amendement A1 (octobre 2008).
- NF EN 1995-1-1/NA (mai 2010) – Eurocode 5 : Conception et calcul des structures en bois – Partie 1-1 : Généralités – Règles communes et règles pour les bâtiments – Annexe nationale à la NF EN 1995-1-1.
- NF EN 1995-1-2 (septembre 2005) – Eurocode 5 : Conception et calcul des structures en bois – Partie 1-2 : Généralités – Calcul des structures au feu.
- NF EN 1995-1-2/NA (avril 2007) – Eurocode 5 : Conception et calcul des structures en bois – Partie 1-2 : Généralités – Calcul des structures au feu – Annexe nationale à la NF EN 1995-1-2.
- NF EN 1993-1-1 (octobre 2005) – Eurocode 3 : Calcul des structures en acier – Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments.
- NF EN 1993-1-1/NA (août 2013) – Eurocode 3 : Calcul des structures en acier – Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments – Annexe nationale à la NF EN 1993-1-1.

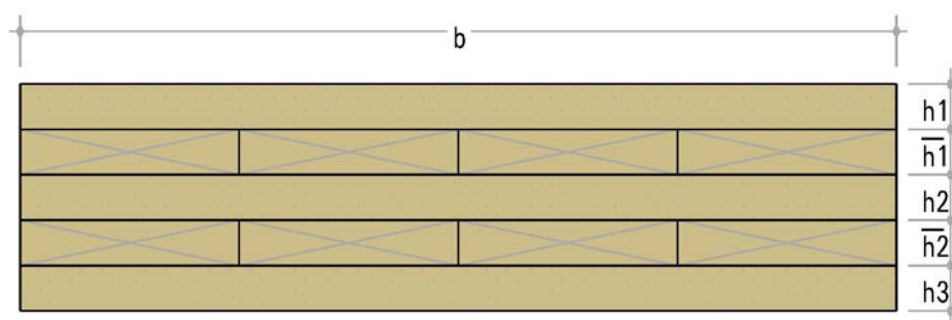
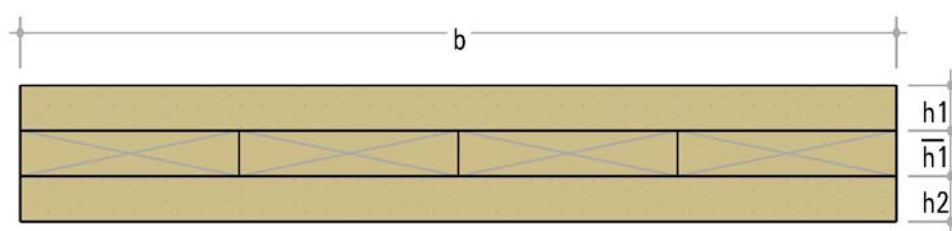
Séisme

- Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal ».
- Arrêté du 25 octobre 2012 modifiant l'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal ».
- NF EN 1998-1 (septembre 2005) – Eurocode 8 : Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 1 : Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments + amendement A1.
- NF EN 1998-1/NA (décembre 2007) – Eurocode 8 – Calcul des structures pour leur résistance aux séismes – Partie 1 : Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments – Annexe nationale à la NF EN 1998-1.

Annexe 1 – Méthode de calcul des planchers



1.1 Données



b : largeur

L : portée

$\sigma_{m,k}$: résistance caractéristique à la flexion

$\sigma_{t,0,k}$: résistance caractéristique à la traction

$\sigma_{R,k}$: résistance caractéristique au cisaillement roulant

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

$G_{,mean}$: module de cisaillement moyen du bois

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

γ_m : coefficient de sécurité du bois

k_{mod} : coefficient de modification

k_{def} : coefficient de déformation

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

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

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

M_u : moment de flexion de calcul maximum

V_u : effort tranchant maximum de dimensionnement

▲ Figure 131 : Notations

1.2. Vérifications à l'ELU instantané

Instantané – charges à court terme

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

$$EI_{ef} = \sum_{i=1}^3 \left(E_{0,mean,i} \cdot I_i + \gamma_i E_{0,mean,i} A_i a_i^2 \right)$$

En utilisant les valeurs moyennes de E et où :

$$A_i = b \cdot h_i$$

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

$$\gamma_2 = 1$$

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

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

$$a_2 = \frac{\gamma_1 \cdot E_{0,mean,1} \cdot A_1 \cdot \left(\frac{h_1}{2} + \bar{h}_1 + \frac{h_2}{2} \right) - \gamma_3 \cdot E_{0,mean,3} \cdot A_3 \cdot \left(\frac{h_2}{2} + \bar{h}_2 + \frac{h_3}{2} \right)}{\sum_{i=1}^3 \gamma_i \cdot E_{0,mean,i} \cdot A_i}$$

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

Les contraintes normales sont prises selon :

$$\sigma_{t,0,i} = \frac{\gamma_i \cdot E_{0,mean,i} \cdot a_i \cdot M_u}{EI_{ef}}$$

$$\sigma_{m,0,i} = \frac{0,5 \cdot E_{0,mean,i} \cdot h_i \cdot M_u}{EI_{ef}}$$

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

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

Vérification du cisaillement roulant :

$$\tau_{v,d} = \frac{\gamma_3 \cdot E_{0,mean,3} \cdot A_3 \cdot a_3 + 0,5 E_{0,mean,2} \cdot b \cdot h_2^2}{b_2 (EI)_{ef}} \cdot V$$

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{R,d}} \leq 1$$

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

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

$$S_i = b \cdot h_i \cdot x_i$$

où :

b : largeur du panneau (mm) ;

h_i : épaisseur du pli (mm) ;

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

Avec la valeur caractéristique de résistance au cisaillement roulant définie dans l'ATE du procédé considéré.

Une attention particulière doit être portée à la conception des planchers, 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 au paragraphe 6.5.

1.3. 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 elles sont additionnées pour les vérifications.

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

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

où :

$G_{R,mean}$: le module de cisaillement roulant moyen défini au paragraphe 4.4.2.5. ;

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

1.4. Vérifications ELS

1.4.1 Caractéristiques mécaniques instantanées (charge à court terme : instantanées)

Il convient de considérer la rigidité efficace en flexion déterminée au paragraphe 1.2 ci-dessus.

1.4.2. Caractéristiques mécaniques finales (charge à long terme : permanentes)

Les caractéristiques élastiques prises en compte sont réduites pour pouvoir considérer le fluage. Il convient de prendre les valeurs moyennes finales respectives du module d'élasticité utilisé pour calculer la déformation à long terme due à la combinaison quasi



permanente d'actions (voir NF EN 1990, 6.5.3 [2] [c]), selon les équations suivantes :

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

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

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

avec G_{mean} le module de cisaillement moyen du panneau CLT.

1.4.3. Vérifications de flèche

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

1.4.4. Vérifications de 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 CLT.

1.4.5. Vérifications de 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 CLT.

1.4.6. Vérifications de flèche active

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

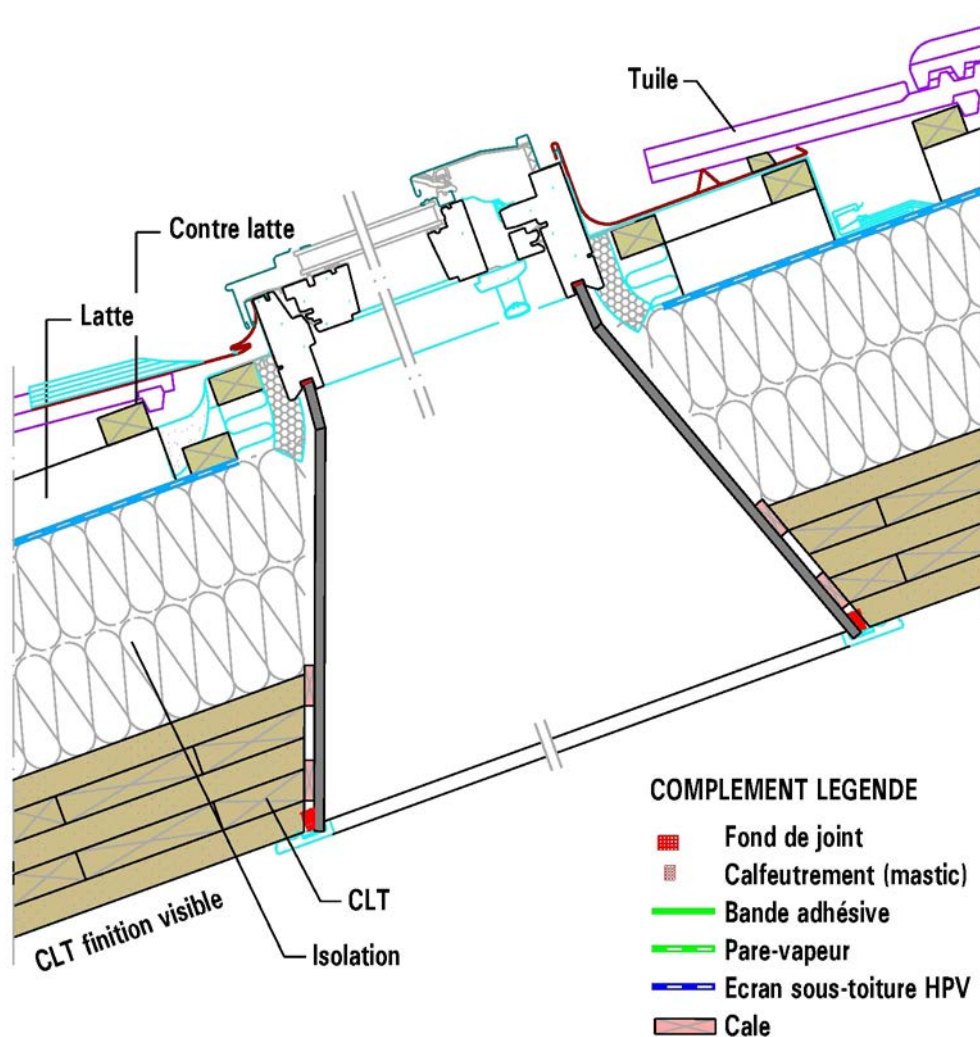
- pour les planchers, la flèche active pouvant nuire aux revêtements de sols rigides, ne doit pas dépasser :
 - soit la valeur fixée par les DTU correspondants, si elle est disponible ;
 - soit $L/500$ de la portée si celle-ci est $\leq$ à 5,0 m ; ou 0,5 cm + $L/1\ 000$ de la portée si celle-ci est supérieure à 5,0 m ;

- pour les planchers n'ayant pas à supporter des revêtements de sols rigides, la flèche active est limitée, par la norme, ou en l'absence d'autres précisions, aux valeurs suivantes :
 - soit $L/350$ de la portée si celle-ci est $\leq 3,50$ m ;
 - soit $0,5 \text{ cm} + L/700$ de la portée si celle-ci est supérieure à 3,50 m.

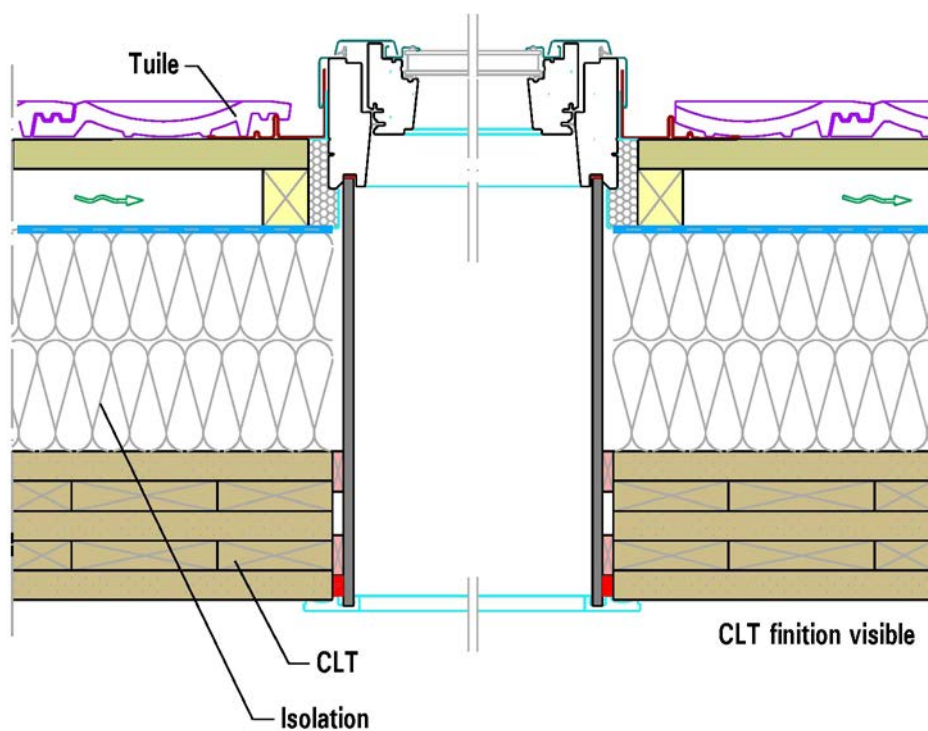
Les critères de flèche active doivent être vérifiés en considérant les caractéristiques mécaniques instantanées des panneaux CLT.

Annexe 2 – Carnet de détails « menuiseries »

■ Carnet de détails " menuiseries "



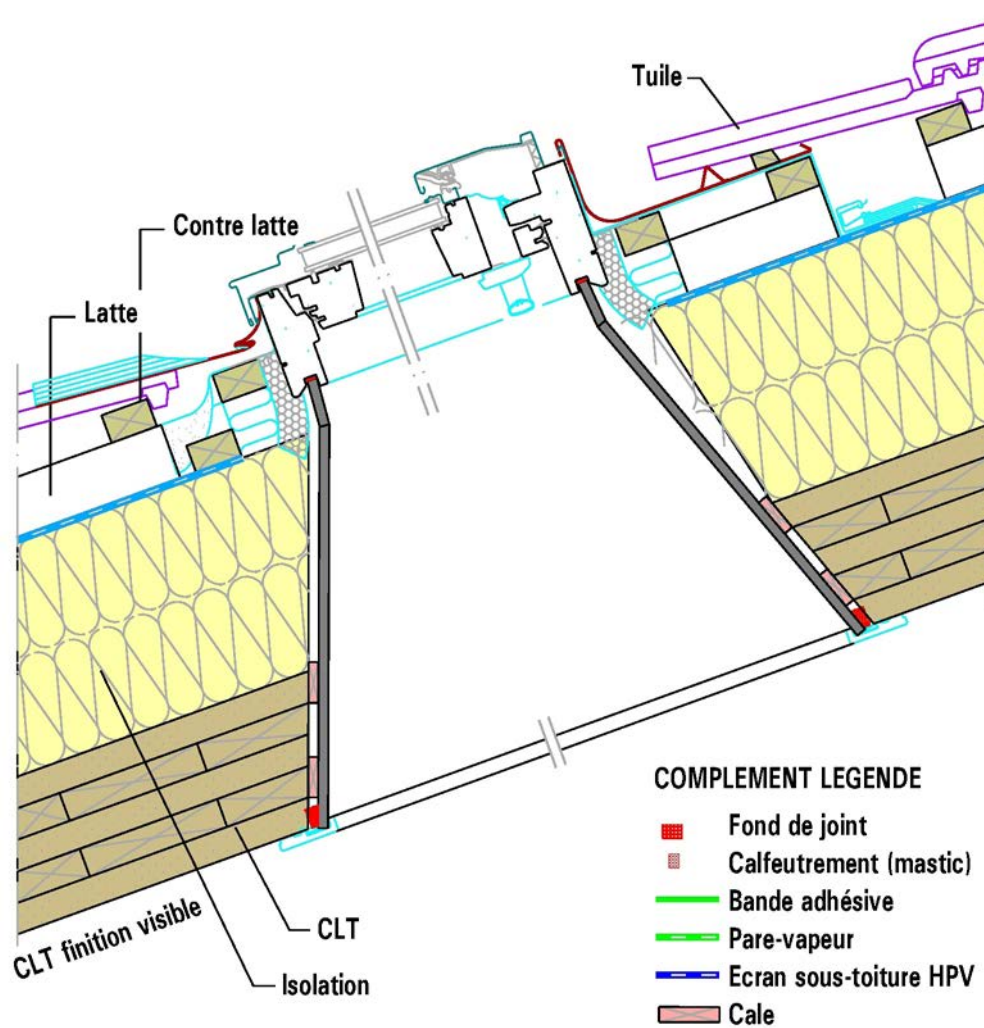
▲ Figure 132 : Couverture 1 : isolant extérieur par procédé sarking sous AT. Détail sur fenêtre de toit



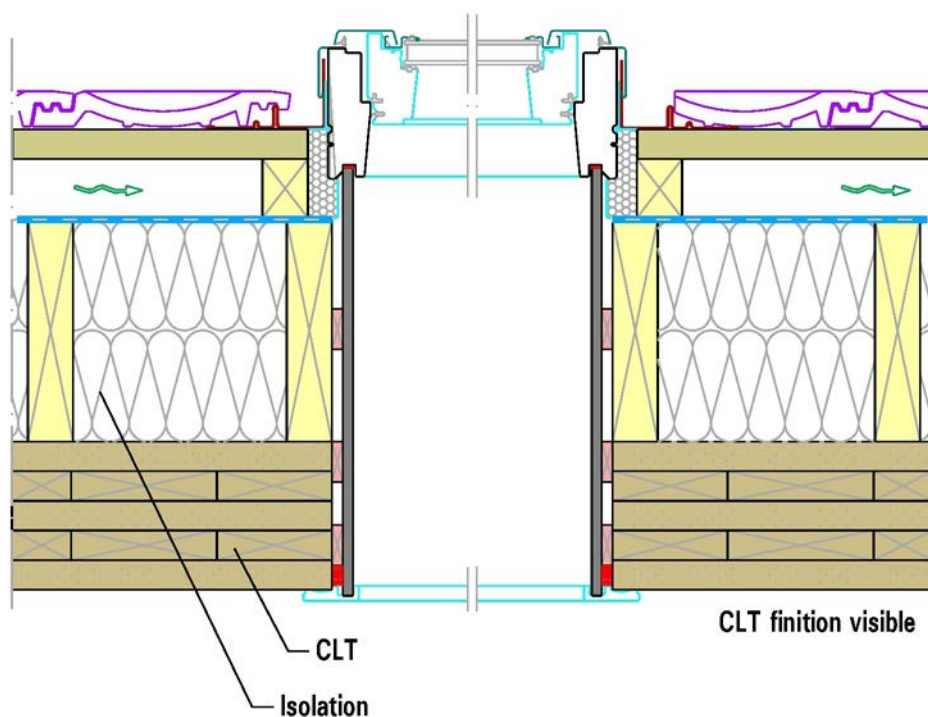
COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

▲ Figure 133 : Couverture 1 : isolant extérieur par procédé sarking. Détail sur fenêtre de toit



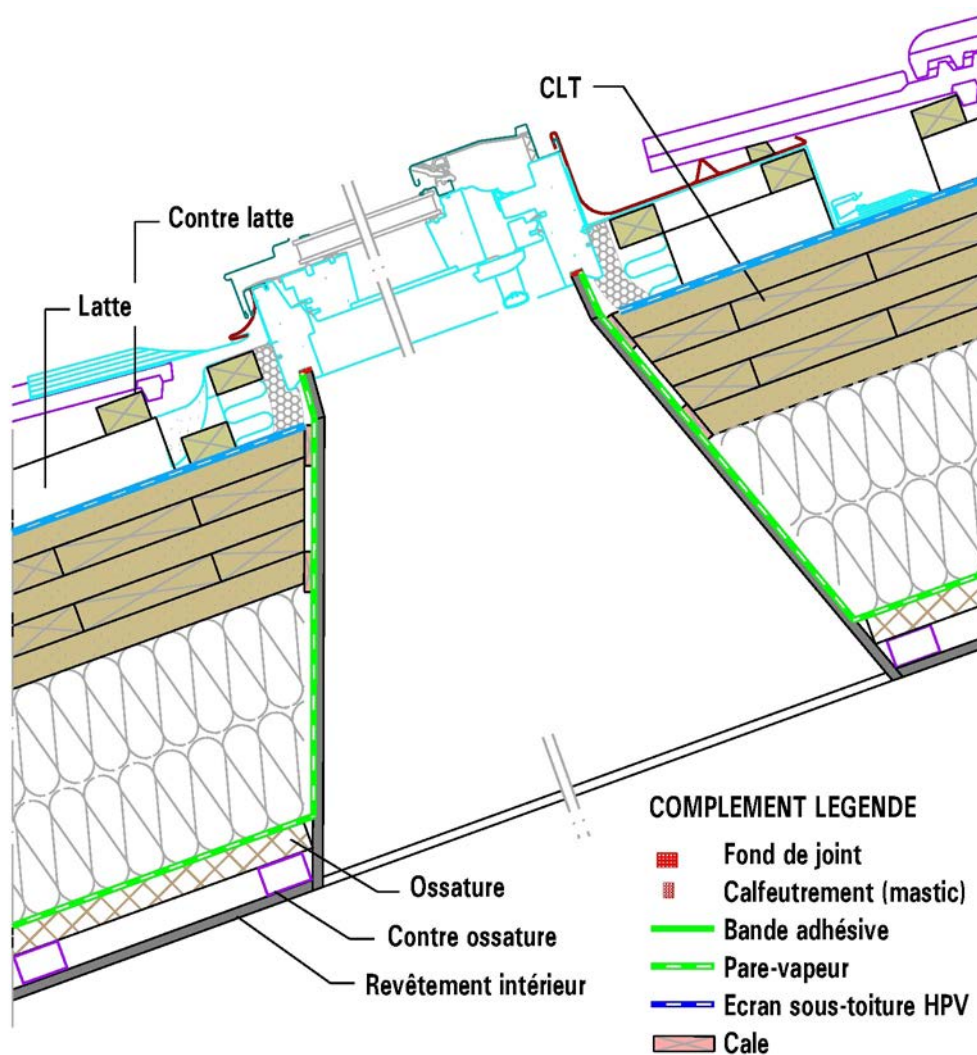
▲ Figure 134 : Isolant extérieur et membrure. Détail sur fenêtre de toit



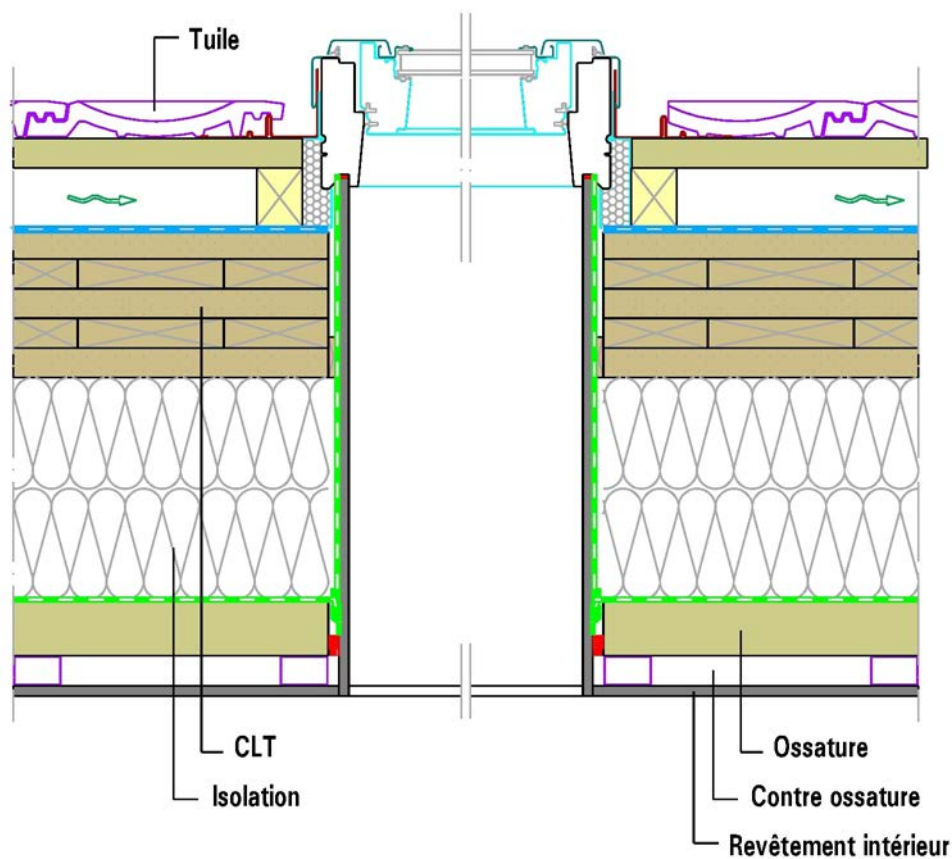
COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

▲ Figure 135 : Isolant extérieur et membrure. Détail sur fenêtre de toit



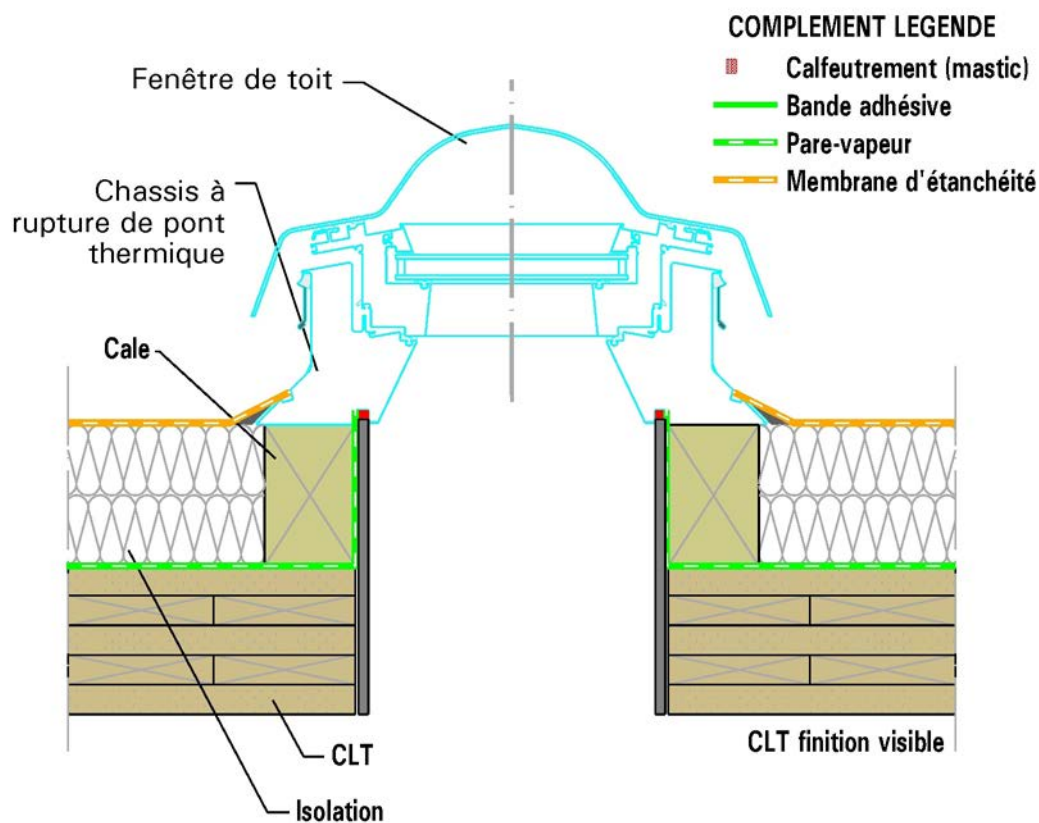
▲ Figure 136 : Isolant intérieur et parement intérieur. Détail sur fenêtre de toit



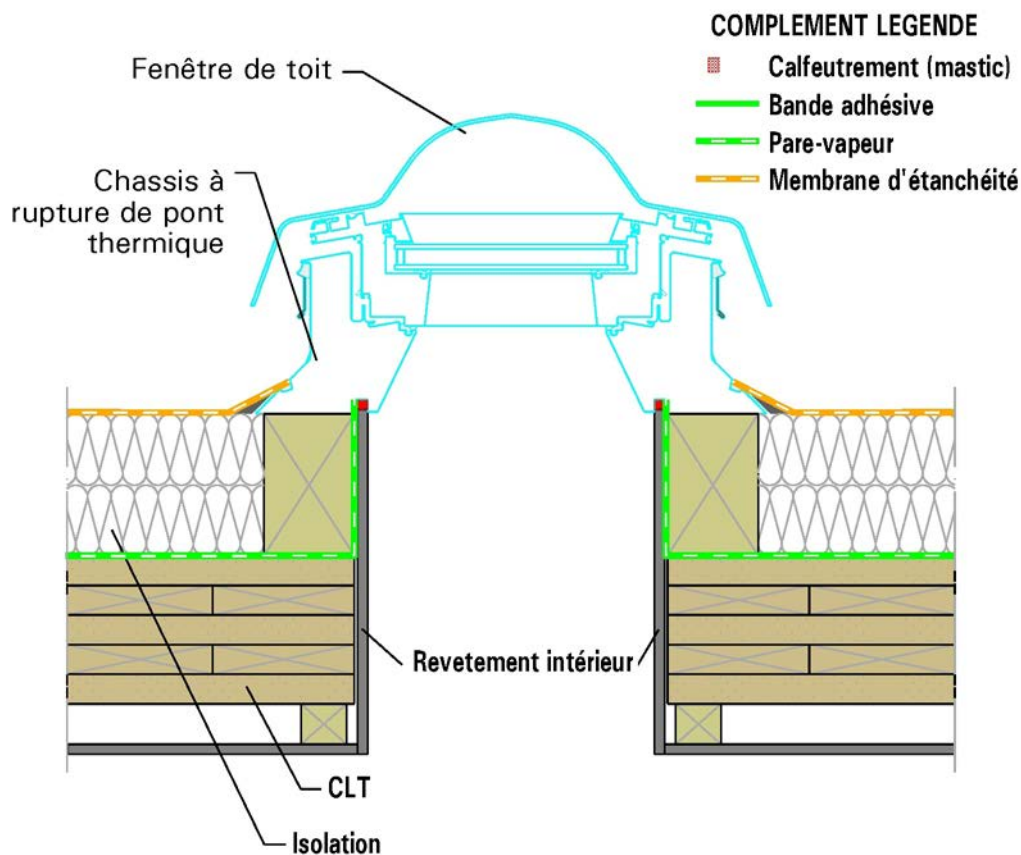
COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

▲ Figure 137 : Isolant intérieur et parement intérieur. Détail sur fenêtre de toit

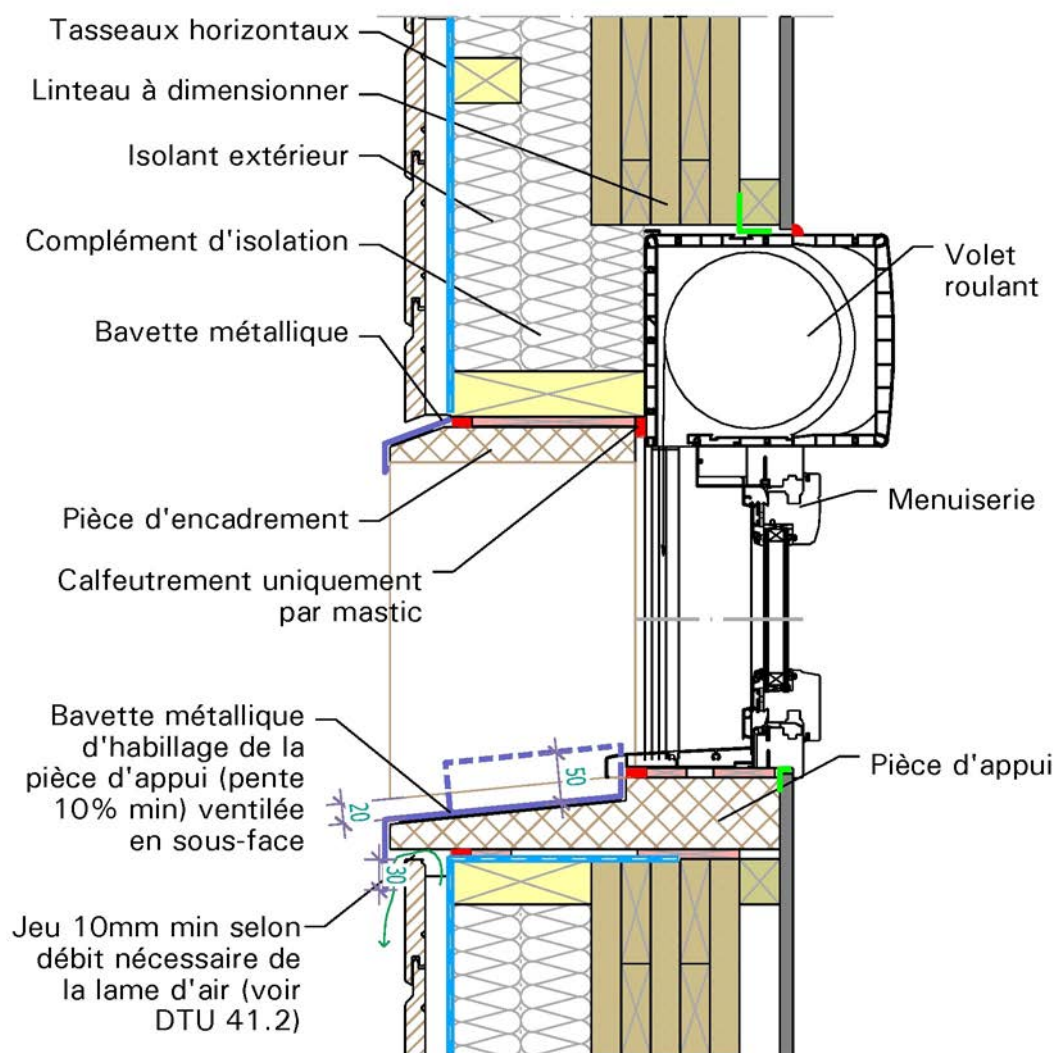


▲ Figure 138 : Étanchéité 1 : isolant extérieur. Détail sur fenêtre de toit



▲ Figure 139 : Étanchéité 1 : isolant extérieur et parement intérieur.

▲ Détail sur fenêtre de toit

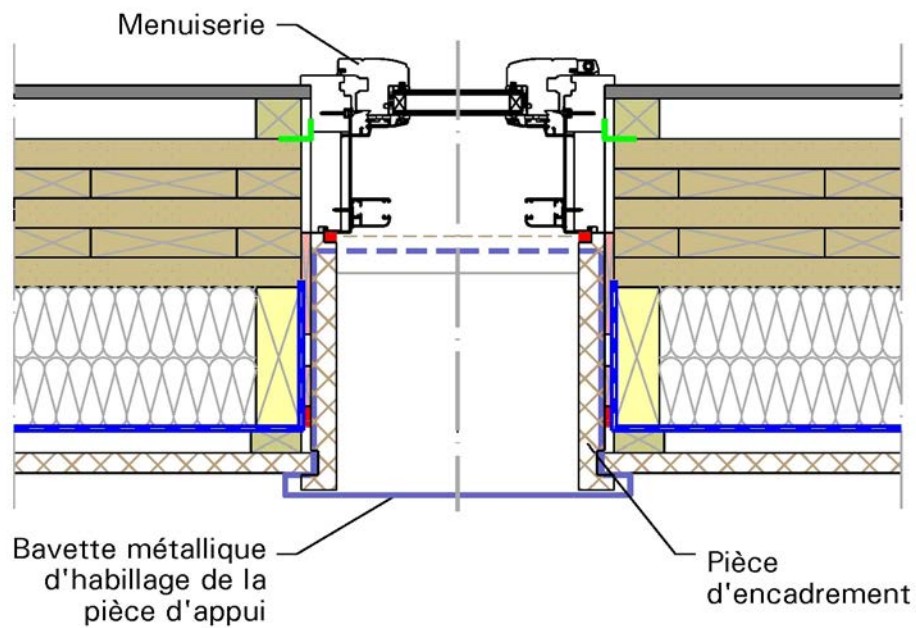


COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

▲ Figure 140 : Mur extérieur 1 : isolant extérieur et parement intérieur.

▲ Détail sur fenêtre bois-aluminium et volet roulant

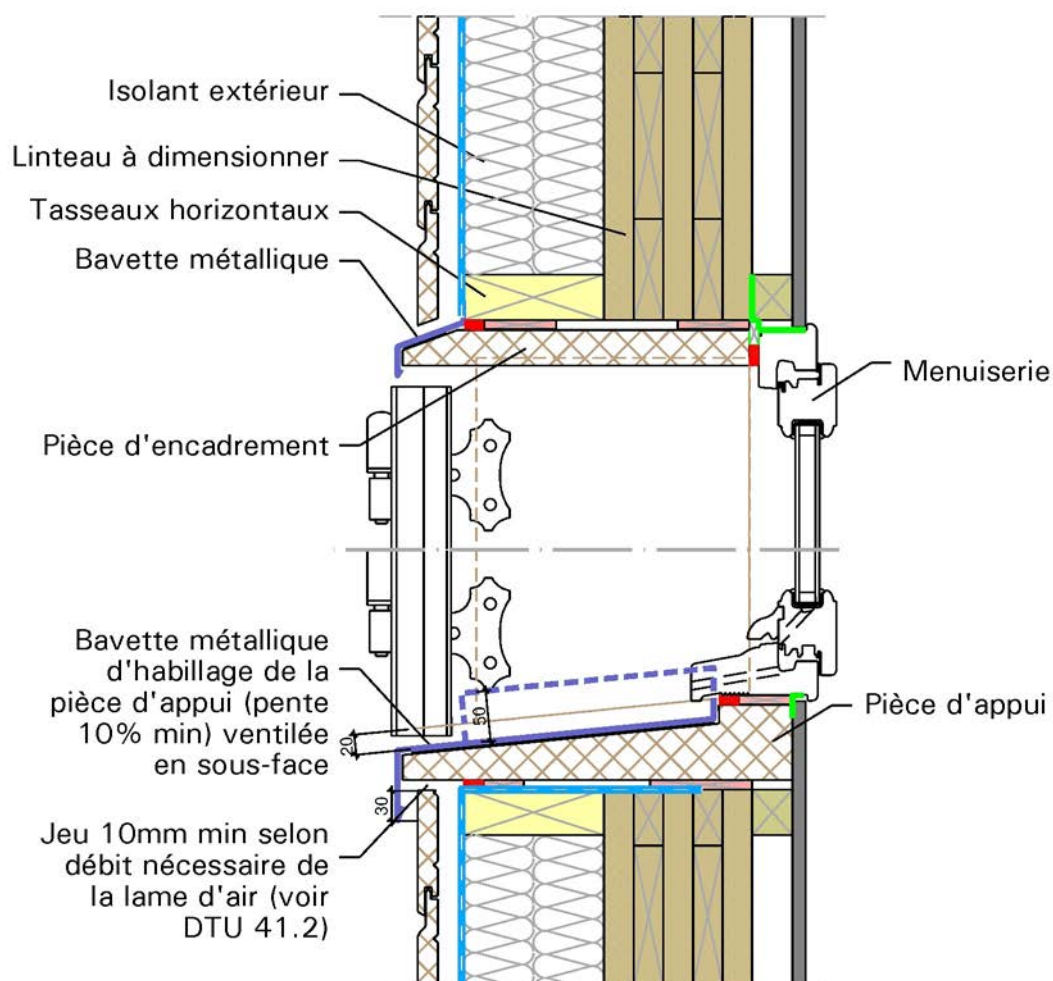


COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

▲ Figure 141 : Mur extérieur 1 : isolant extérieur et parement intérieur.

▲ Détail sur fenêtre bois-aluminium et volet roulant

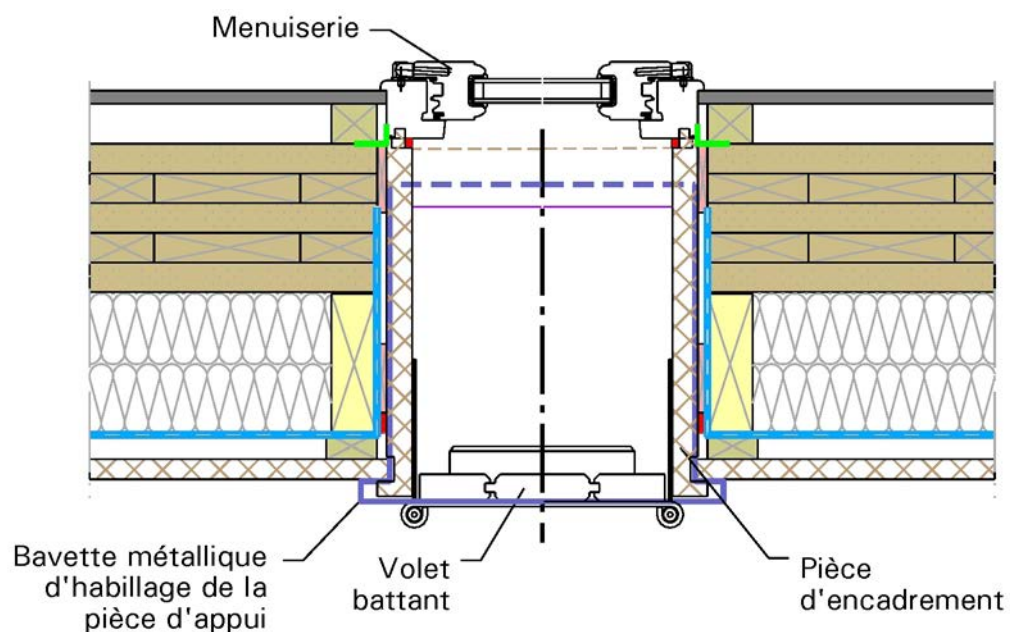


COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

▲ Figure 142 : Mur extérieur 1 : isolant extérieur et parement intérieur.

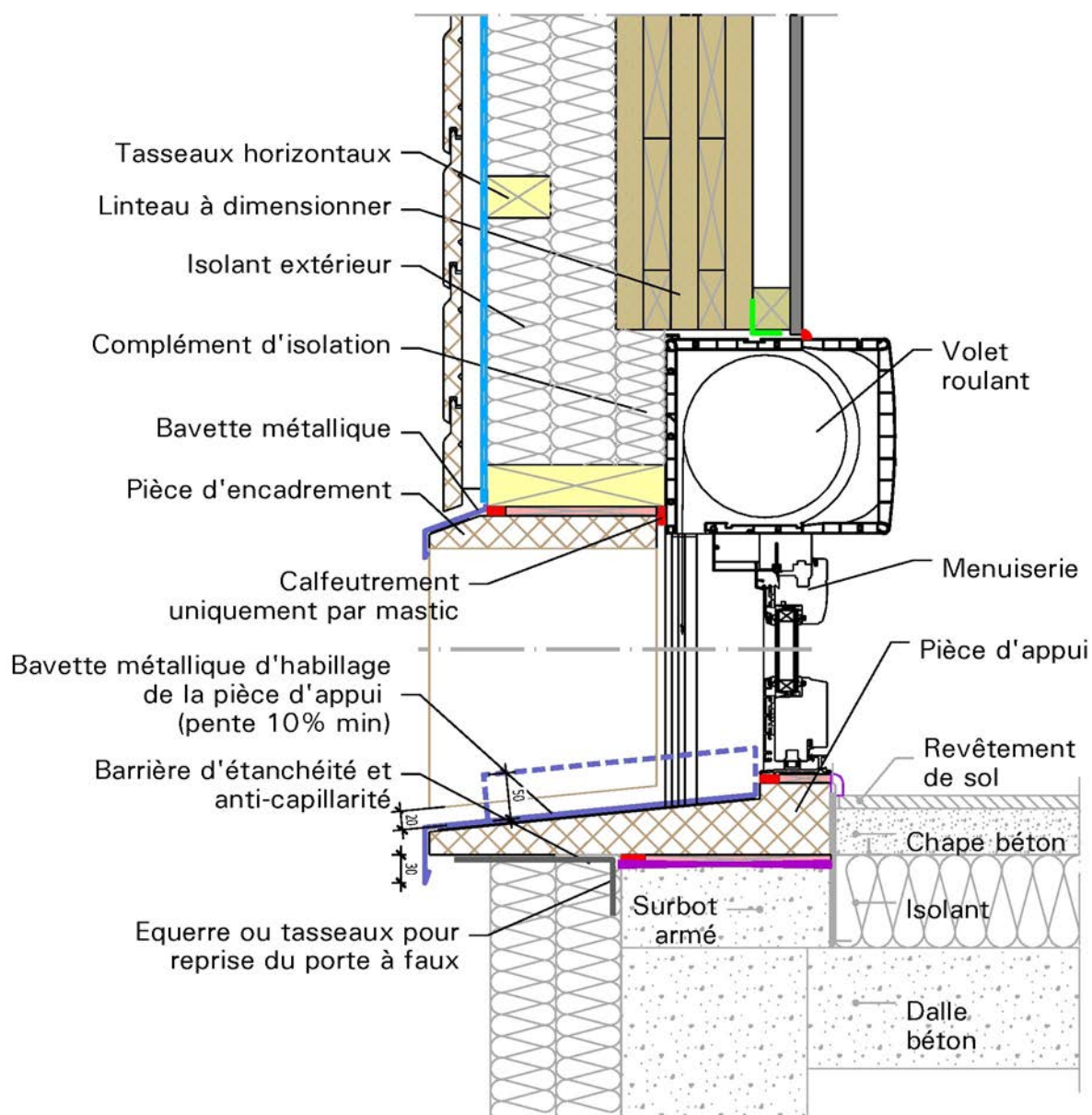
▲ Détail sur fenêtre bois et volet bois



COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

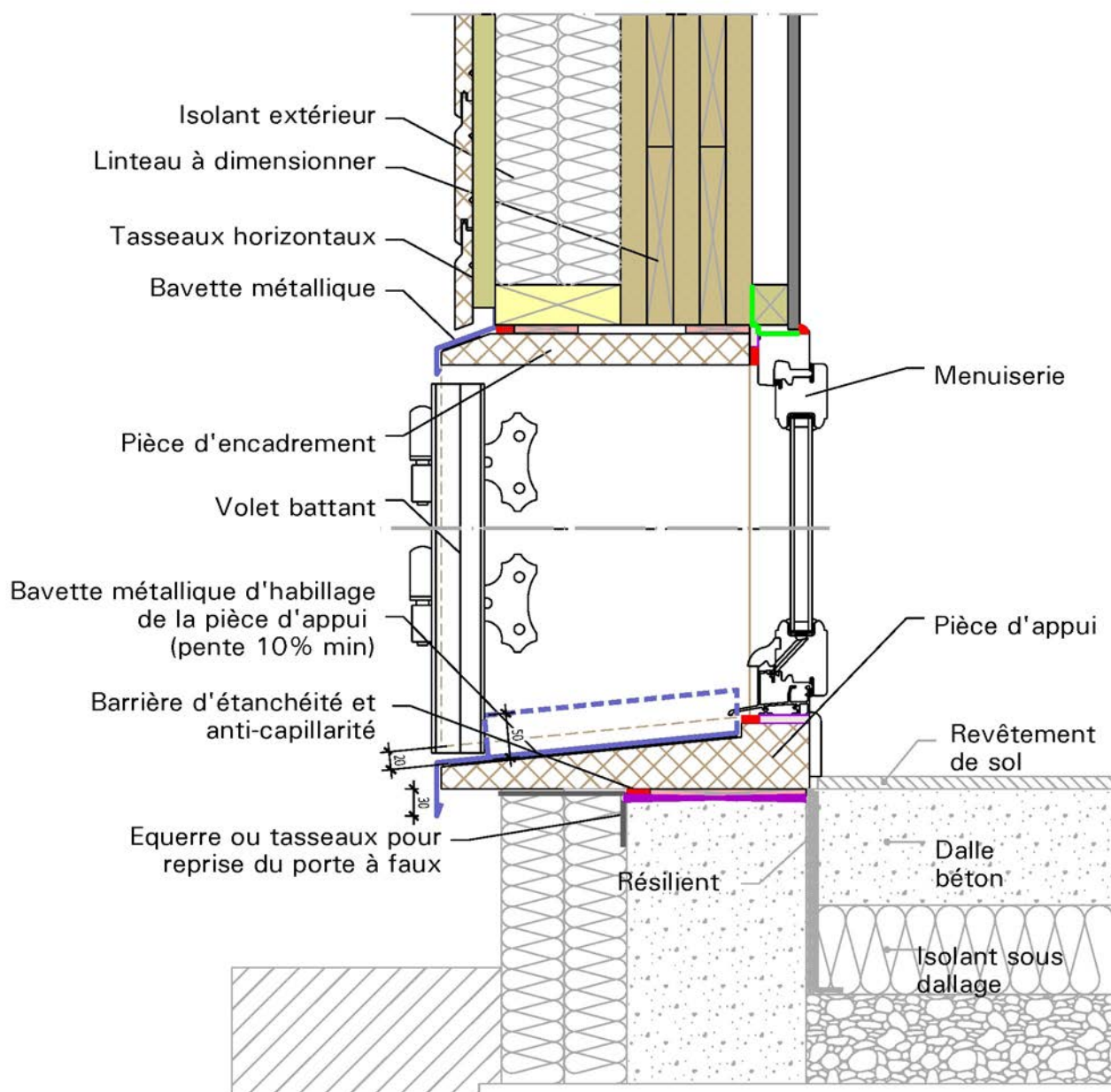
▲ Figure 143 : Mur extérieur 1 : isolant extérieur et parement intérieur.
Détail sur fenêtre bois et volet bois



COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

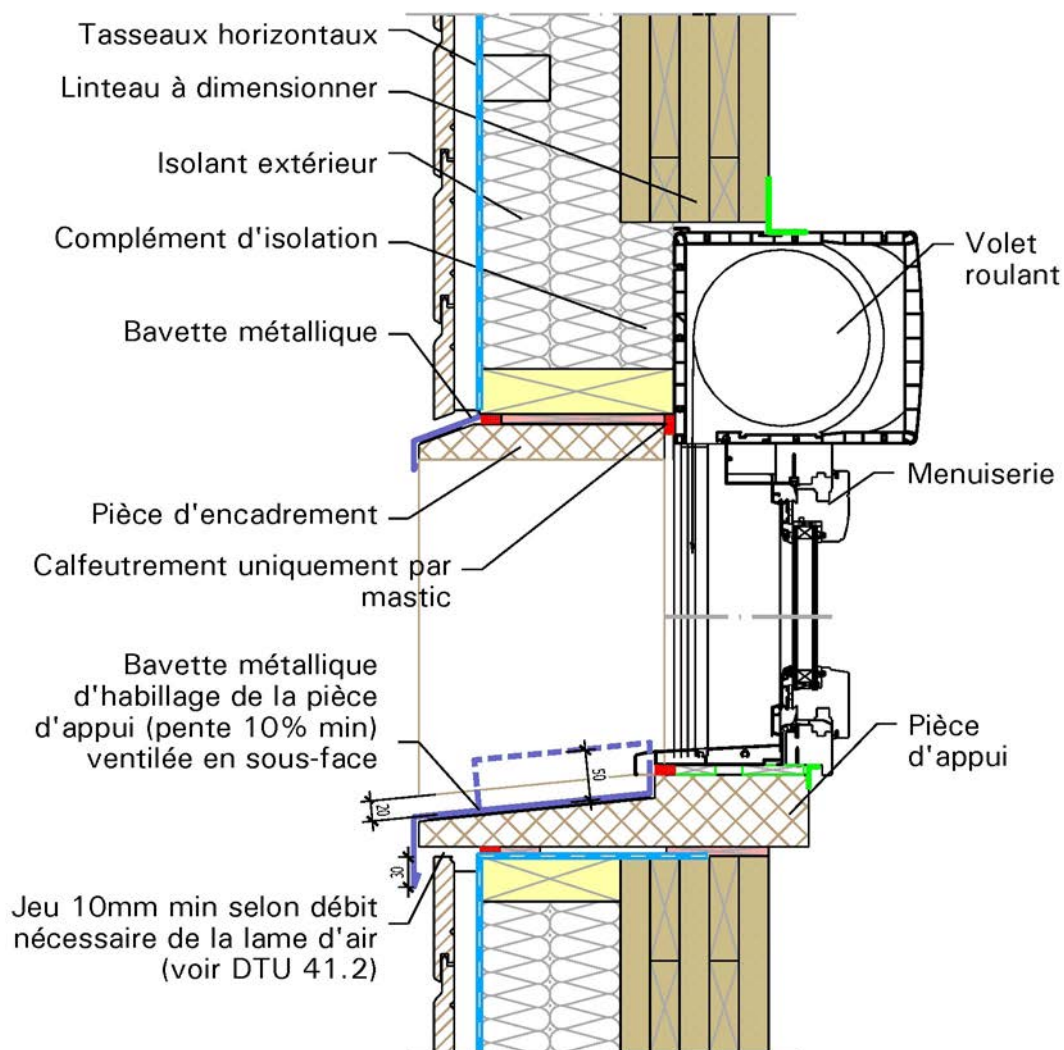
▲ Figure 144 : Mur extérieur 1 : isolant extérieur et parement intérieur.
Détail sur porte-fenêtre bois-aluminium et volet roulant



COMPLEMENT LEGENDE

-  **Fond de joint**
 **Pare-vapeur**
 **Calfeutrement (mastic)**
 **Ecran sous-toiture HPV**
 **Bande adhésive**
 **Cale**

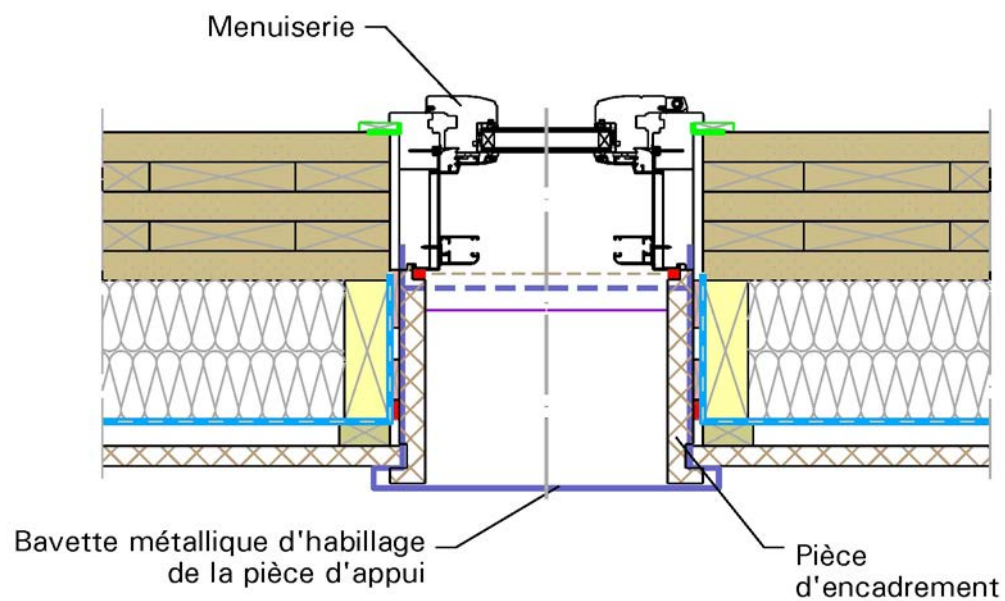
▲ **Figure 145 :** Mur extérieur 1 : isolant extérieur et parement intérieur.
Détail sur porte-fenêtre bois et volet bois



COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

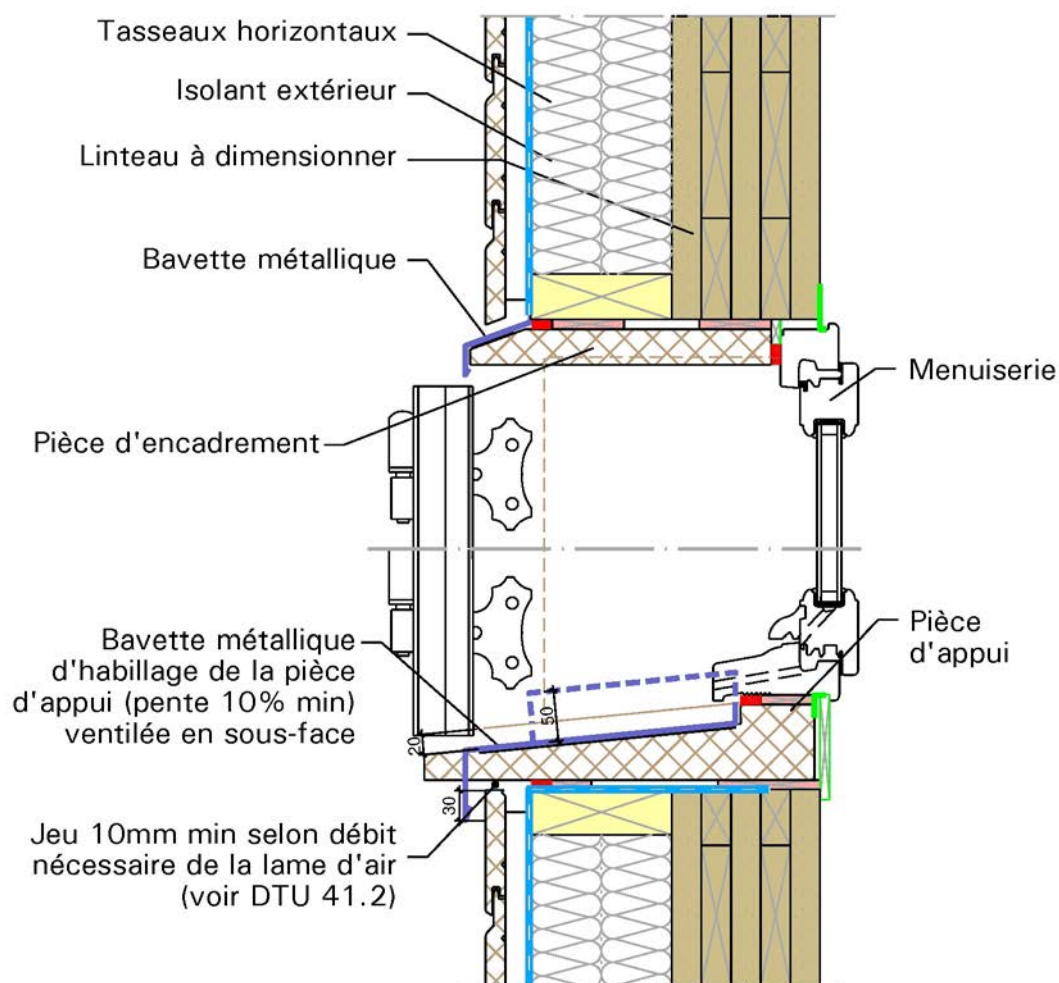
▲ Figure 146 : Mur extérieur 1 : isolant extérieur. Détail sur fenêtre bois-aluminium et volet roulant



COMPLEMENT LEGENDE

- | | | | |
|--|------------------------|--|------------------------|
| | Fond de joint | | Pare-vapeur |
| | Calfeutrement (mastic) | | Ecran sous-toiture HPV |
| | Bande adhésive | | Cale |

▲ Figure 147 : Mur extérieur 1 : isolant extérieur. Détail sur fenêtre bois-aluminium et volet roulant

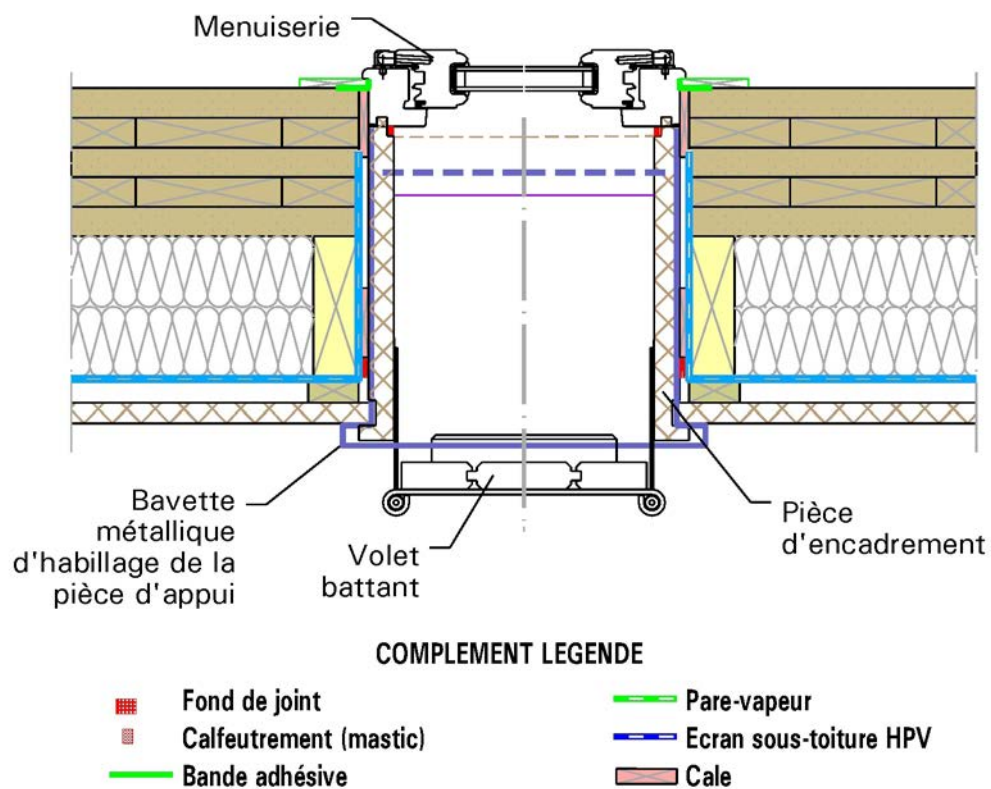


COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

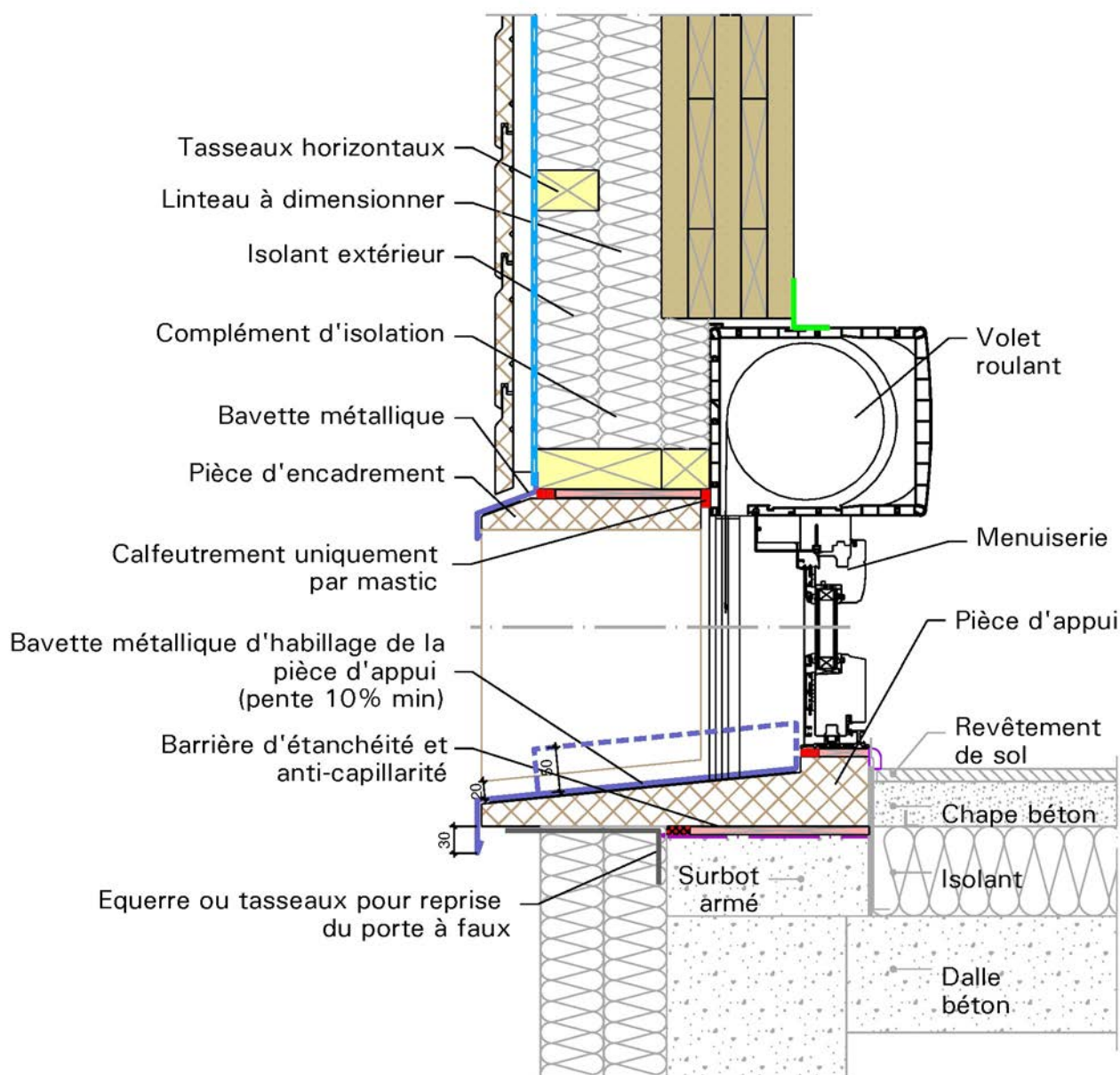
▲ Figure 148 : Mur extérieur 1 : isolant extérieur.

▲ Détail sur fenêtre bois et volet bois



▲ Figure 149 : Mur extérieur 1 : isolant extérieur.

▲ Détail sur fenêtre bois et volet bois

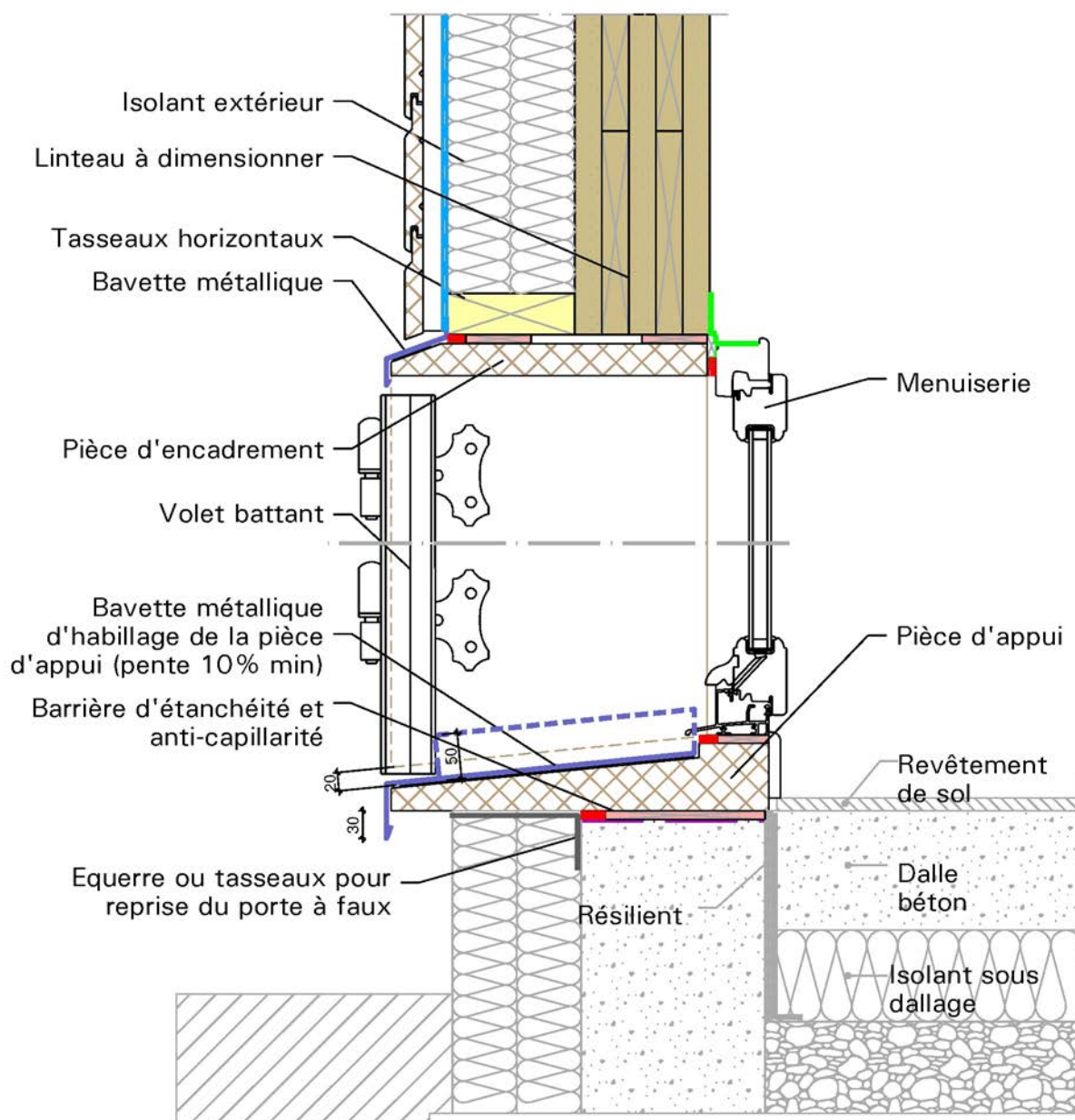


COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

▲ Figure 150 : Mur extérieur 1 : isolant extérieur

▲ Détail sur porte-fenêtre bois-aluminium et volet roulant

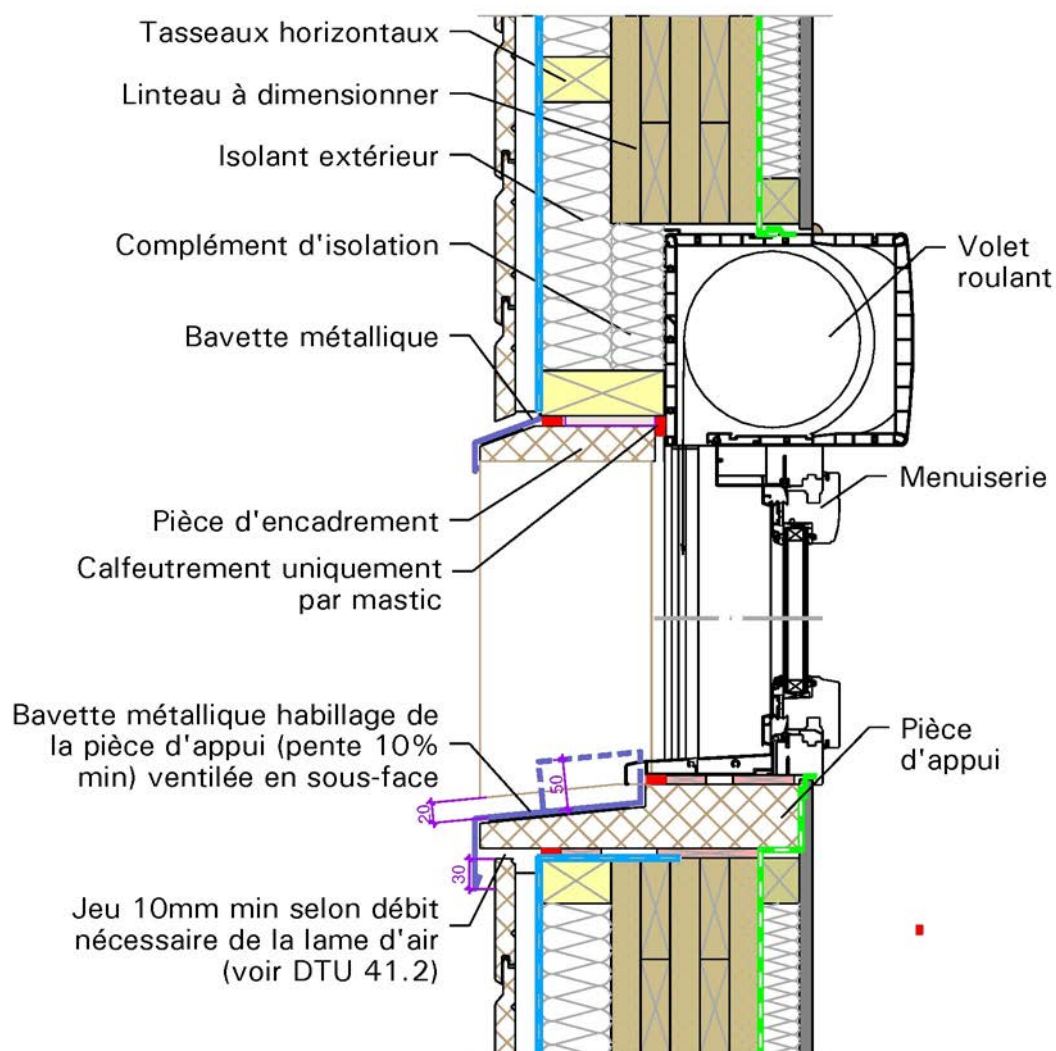


COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

▲ Figure 151 : Mur extérieur 1 : isolant extérieur.

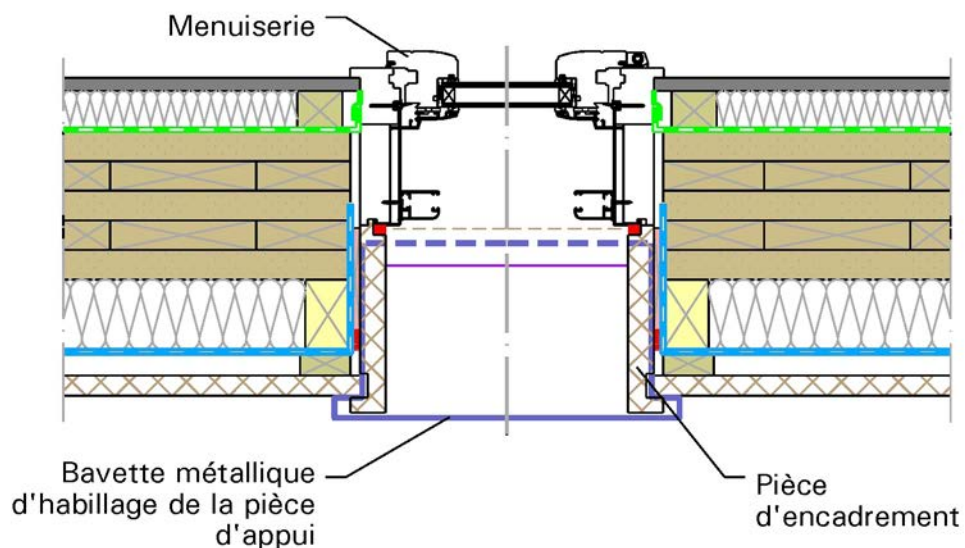
▲ Détail sur porte-fenêtre bois et volet bois



COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

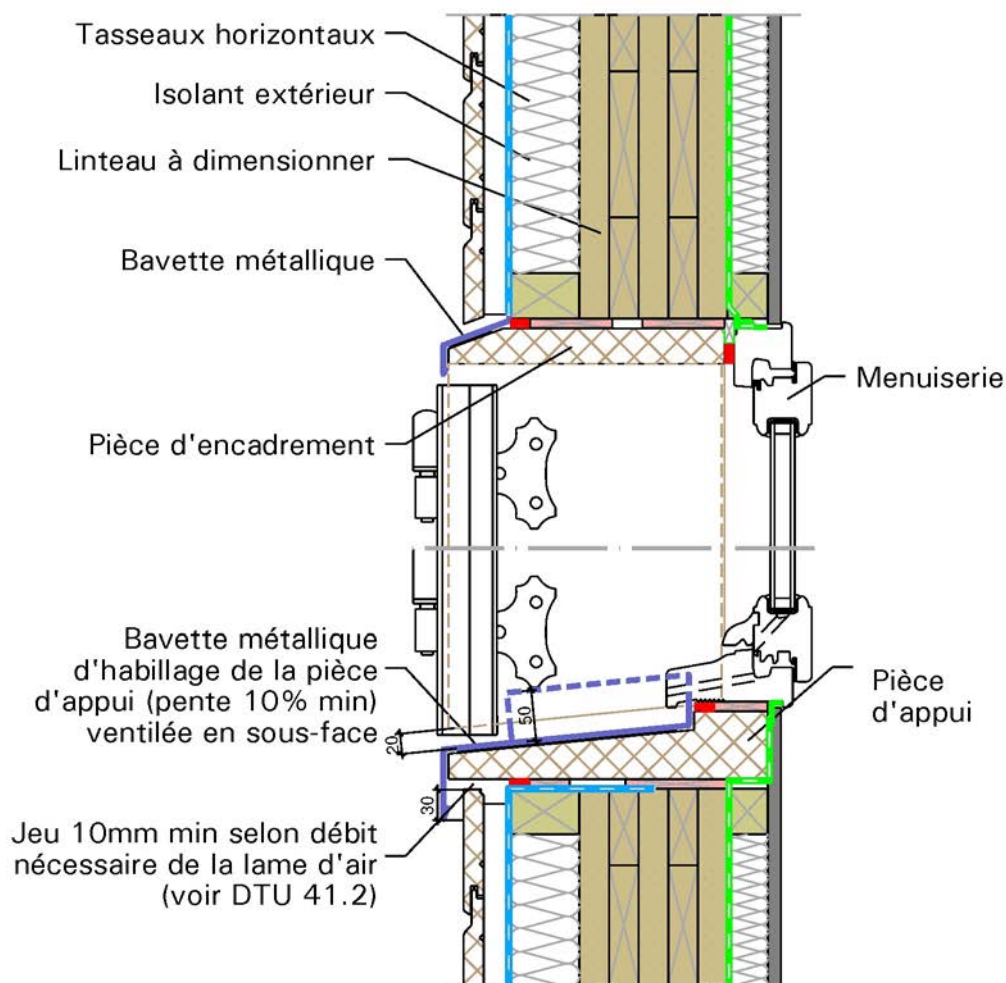
▲ Figure 152 : Mur extérieur 2 : isolant extérieur et doublage intérieur. Détail sur fenêtre bois-aluminium et volet roulant



COMPLEMENT LEGENDE

- | | |
|--|---|
|  Fond de joint |  Pare-vapeur |
|  Calfeutrement (mastic) |  Ecran sous-toiture HPV |
|  Bande adhésive |  Cale |

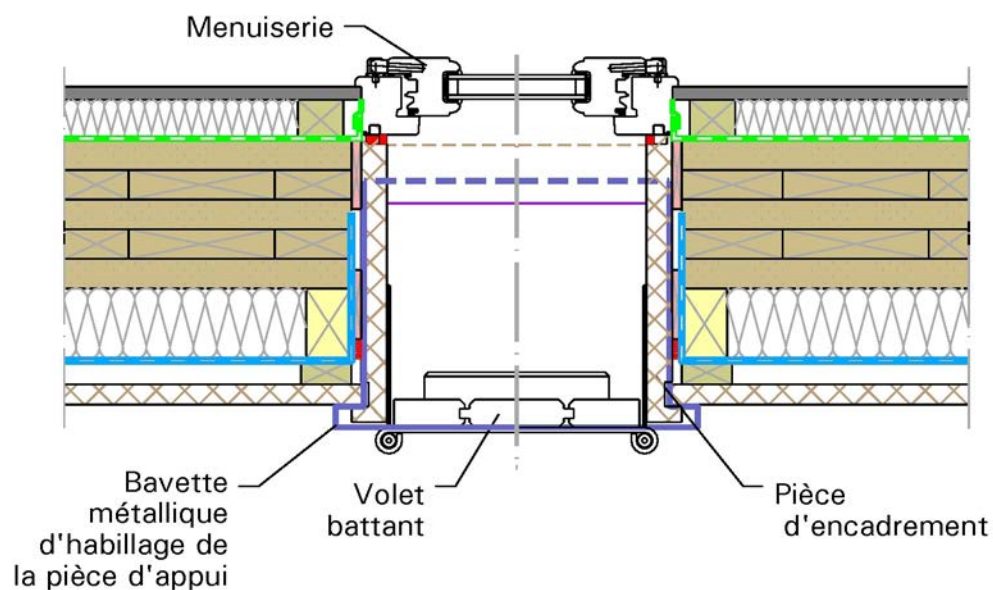
▲ Figure 153 : Mur extérieur 2 : isolant extérieur et doublage intérieur. Détail sur fenêtre bois-aluminium et volet roulant



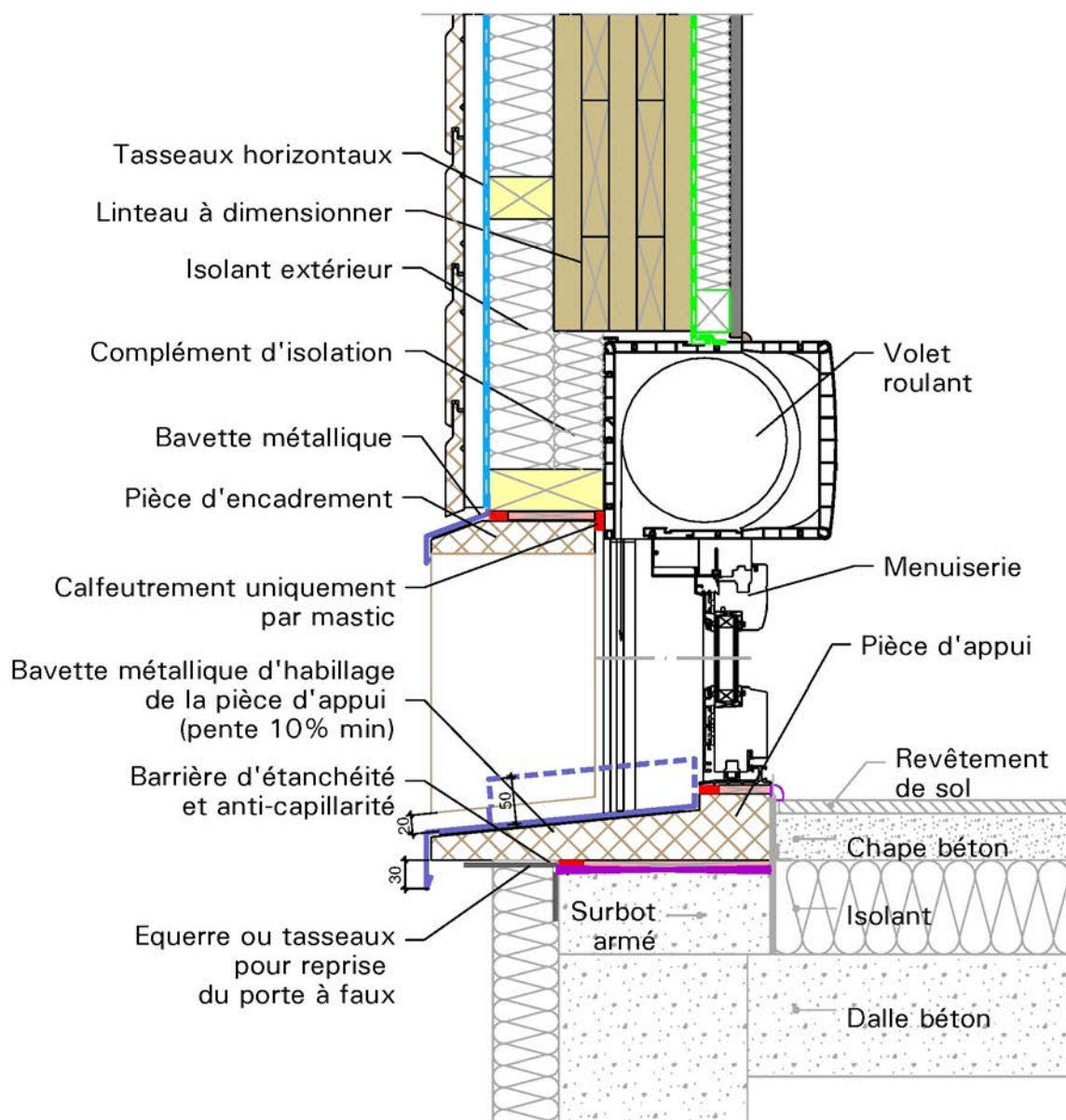
COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

▲ Figure 154 : Mur extérieur 2 : isolant extérieur et doublage intérieur. Détail sur fenêtre bois et volet bois



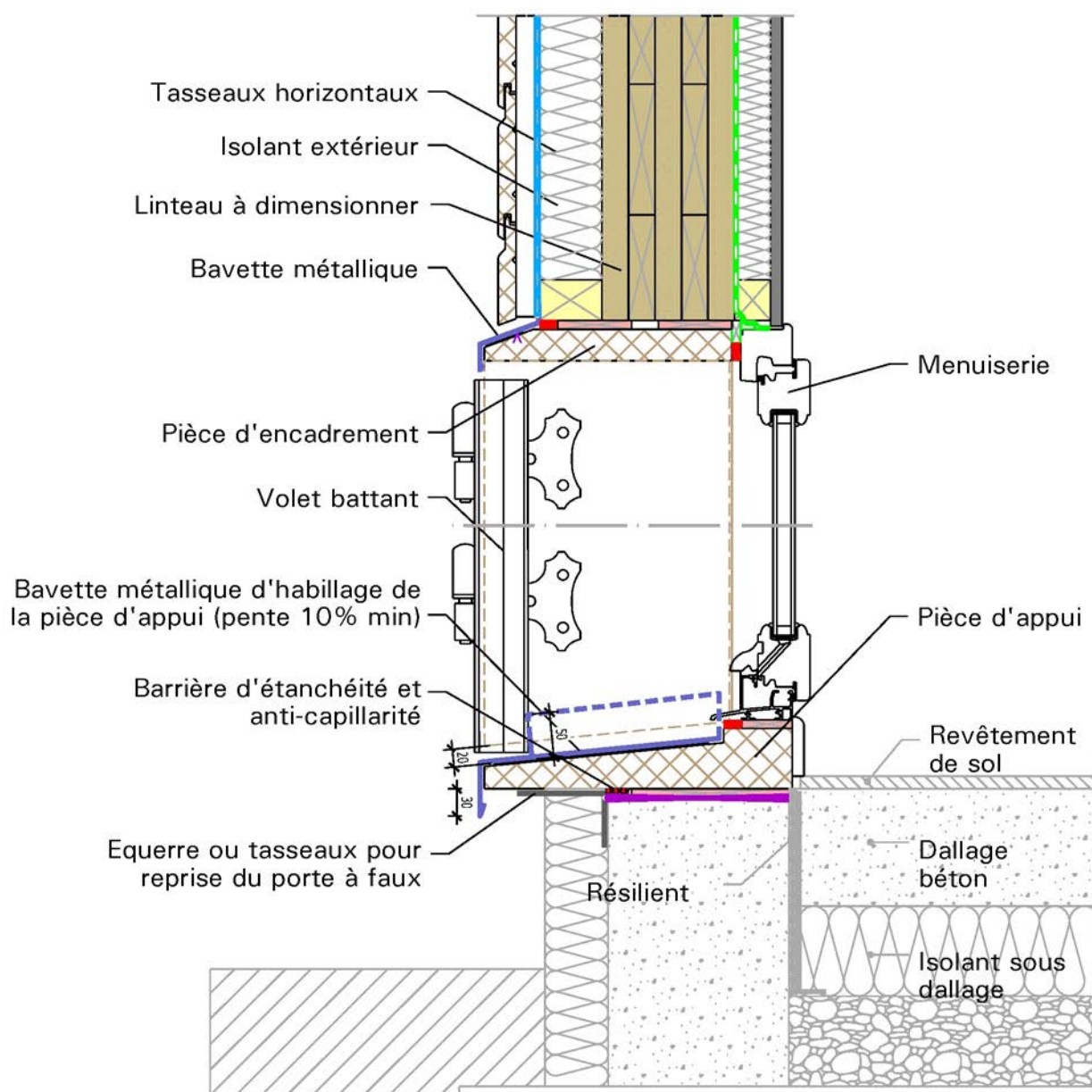
▲ Figure 155 : Mur extérieur 2 : isolant extérieur et doublage intérieur. Détail sur fenêtre bois et volet bois



COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

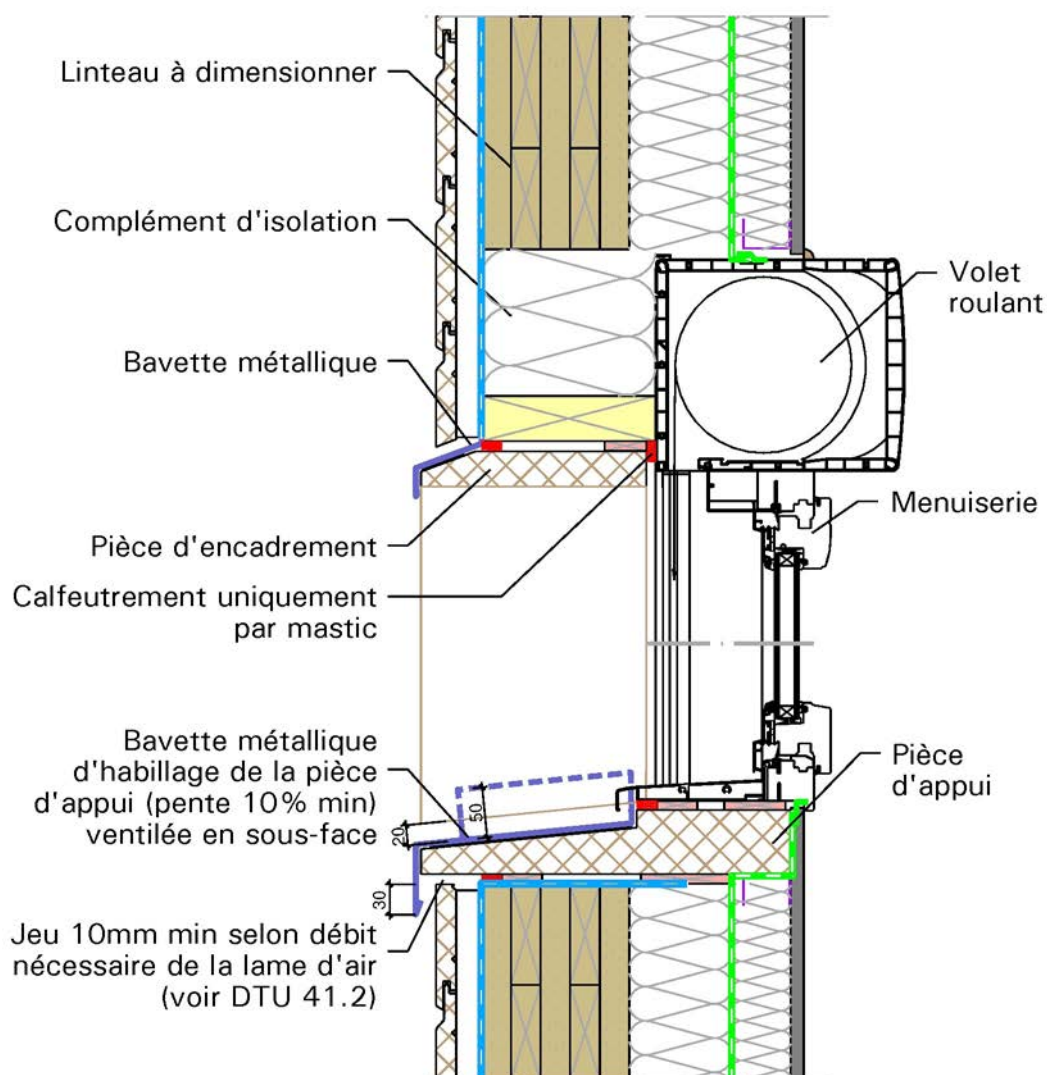
▲ Figure 156 : Mur extérieur 2 : isolant extérieur et doublage intérieur. Détail sur porte-fenêtre bois-aluminium et volet roulant



COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

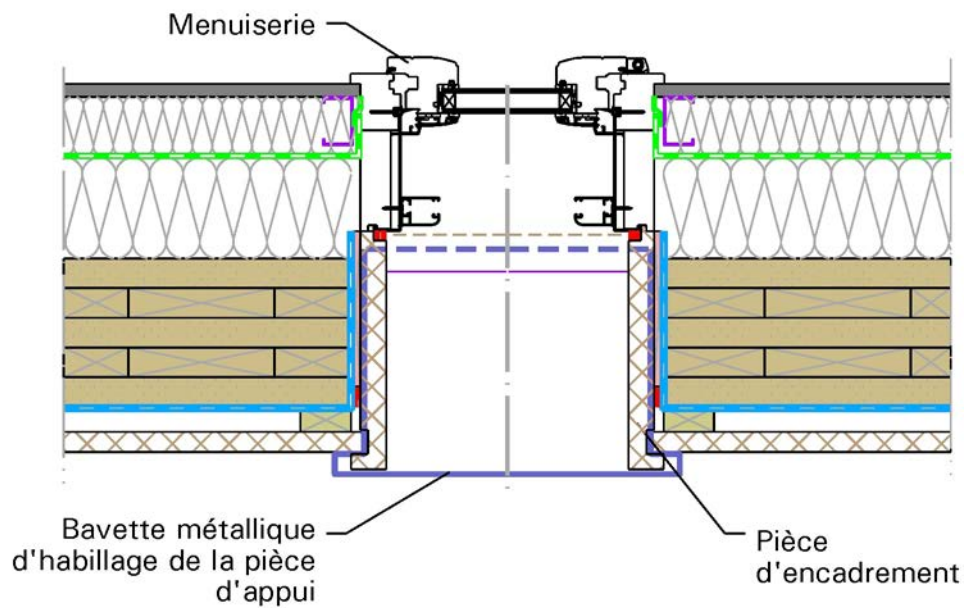
▲ Figure 157 : Mur extérieur 2 : isolant extérieur et doublage intérieur. Détail sur porte-fenêtre bois et volet bois



COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

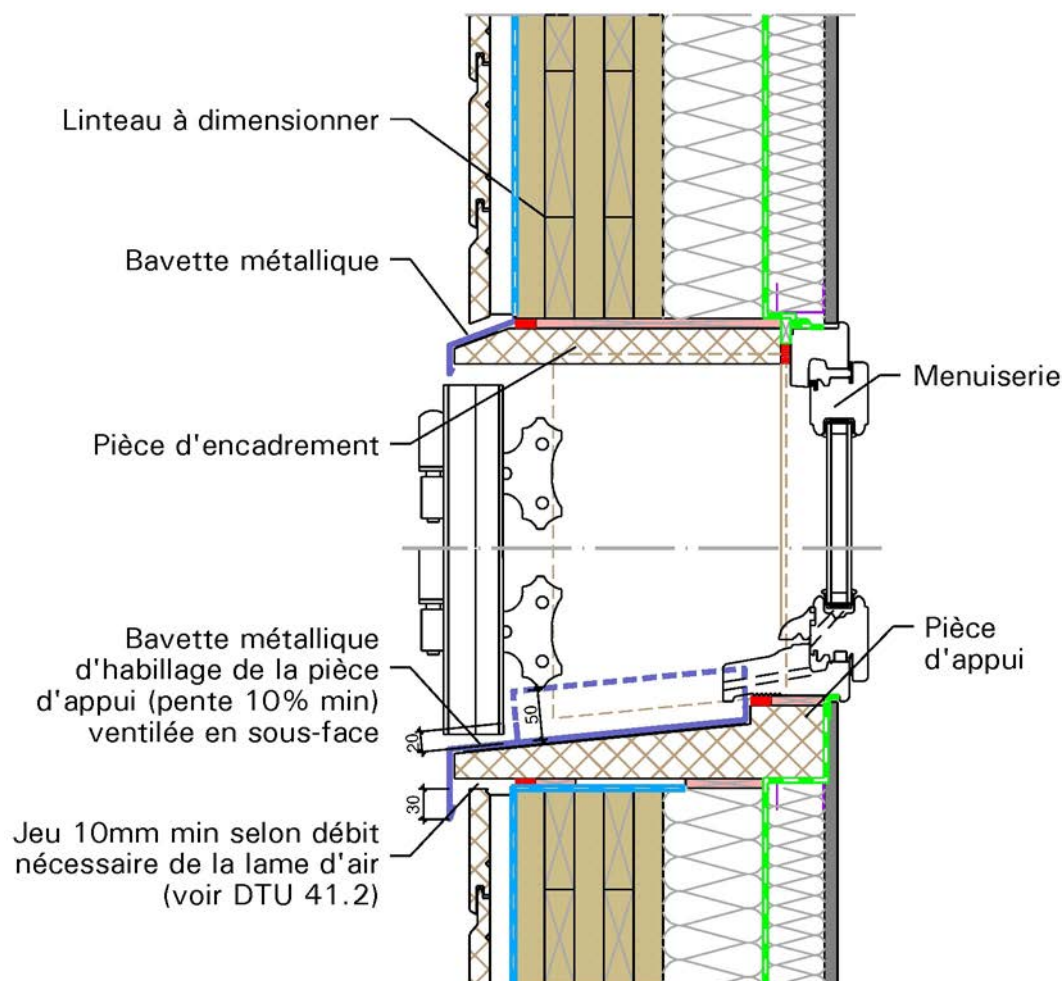
▲ Figure 158 : Mur extérieur 3 : isolant intérieur et doublage intérieur. Détail sur fenêtre bois-aluminium et volet roulant



COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

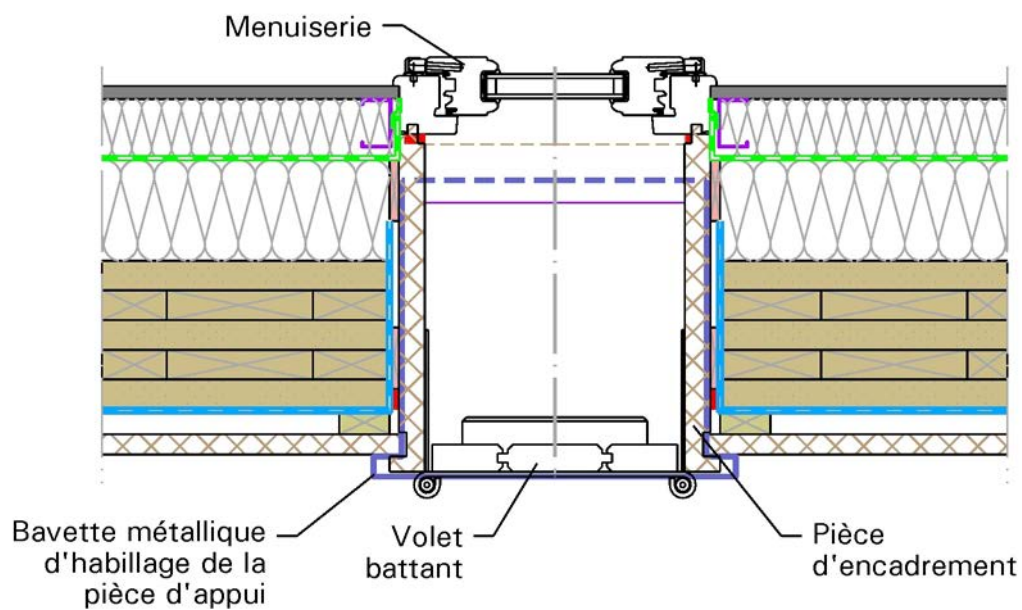
▲ Figure 159 : Mur extérieur 3 : isolant intérieur et doublage intérieur. Détail sur fenêtre bois-aluminium et volet roulant



COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

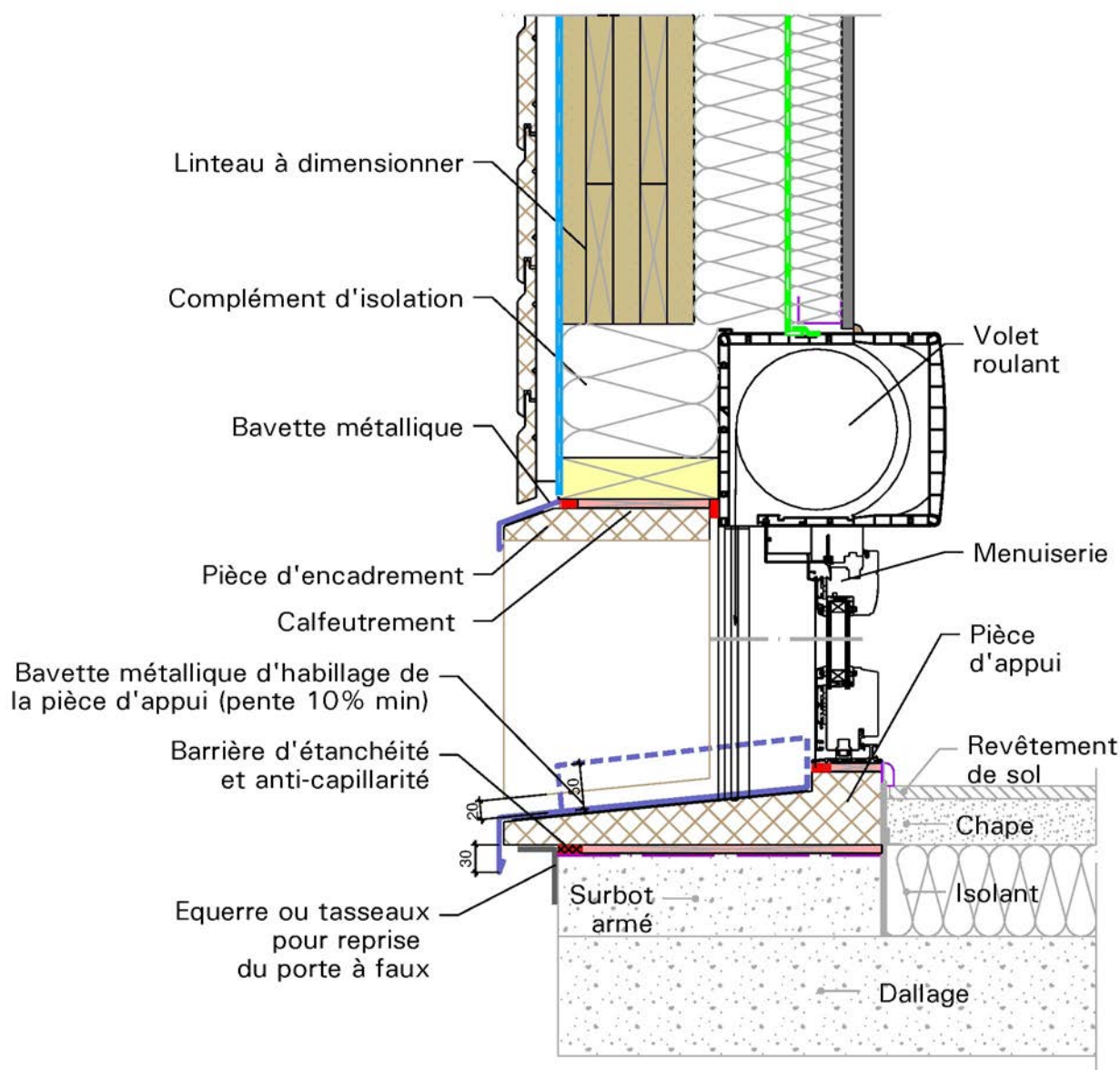
▲ Figure 160 : Mur extérieur 3 : isolant intérieur et doublage intérieur. Détail sur fenêtre bois et volet bois



COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

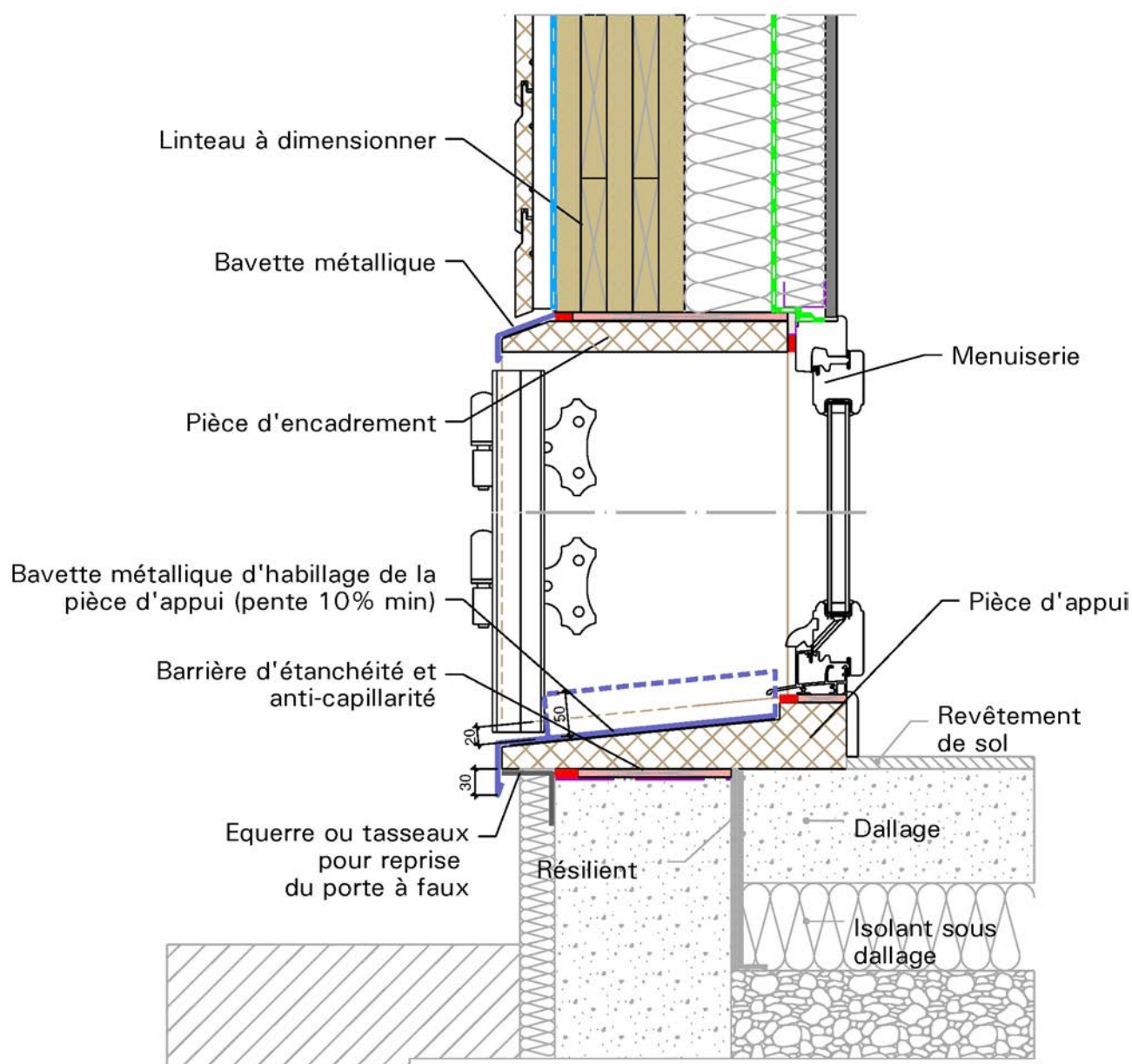
▲ Figure 161 : Mur extérieur 3 : isolant intérieur et doublage intérieur. Détail sur fenêtre bois et volet bois



COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

▲ Figure 162 : Mur extérieur 3 : isolant intérieur et doublage intérieur. Détail sur porte-fenêtre bois-aluminium et volet roulant



COMPLEMENT LEGENDE

	Fond de joint		Pare-vapeur
	Calfeutrement (mastic)		Ecran sous-toiture HPV
	Bande adhésive		Cale

▲ Figure 163 : Mur extérieur 3 : isolant intérieur et doublage intérieur.

▲ Détail sur porte-fenêtre bois et volet bois

Liste des abréviations



- CEP : consommation en énergie primaire
- CLT : cross-laminated timber (bois lamellé croisé)
- CME : capacité maximale en eau
- CPT : cahier des prescriptions techniques
- DPM : documents particuliers de marché
- DTU : documents techniques unifiés
- EAC : enduit d'application à chaud
- ELS : état limite de service
- ELU : état limite ultime
- ERP : établissement recevant du public
- ITE : isolation par l'extérieur
- ITI : isolation par l'intérieur
- LVL : *Laminated Veneer Lumber* (bois lamifié)
- PT : produit de traitement
- PV : procès-verbal
- RT : réglementation thermique
- SBS : styrène-butadiène-styrène
- SNPPA : Syndicat national du profilage des produits plats en acier
- TCE : tous corps d'état
- TIC : température intérieure de confort
- TTV : toiture-terrasse végétalisée

PARTENAIRES du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) ;
- Association des industries de produits de construction (AIMCC) ;
- Agence qualité construction (AQC) ;
- Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment (CAPEB) ;
- Confédération des organismes indépendants de prévention, de contrôle et d'inspection (COPREC Construction) ;
- Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) ;
- Électricité de France (EDF) ;
- Fédération des entreprises publiques locales (EPL) ;
- Fédération française du bâtiment (FFB) ;
- Fédération française des sociétés d'assurance (FFSA) ;
- Fédération des promoteurs immobiliers de France (FPI) ;
- Fédération des syndicats des métiers de la prestation intellectuelle du Conseil, de l'Ingénierie et du Numérique (Fédération CINOVA) ;
- GDF SUEZ ;
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie ;
- Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement ;
- Plan Bâtiment Durable ;
- SYNTec Ingénierie ;
- Union nationale des syndicats français d'architectes (UNSA) ;
- Union nationale des économistes de la construction (UNTEC) ;
- Union sociale pour l'habitat (USH).

Les productions du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont le fruit d'un travail collectif des différents acteurs de la filière bâtiment en France.



PANNEAUX MASSIFS BOIS CONTRECOLLÉS

NOVEMBRE 2014

NEUF

Le bois lamellé-croisé, communément appelé CLT (cross-laminated timber) ou parfois panneau massif, est composé de planches en bois massif croisées à 90° et collées formant des panneaux de grande dimension industrialisés et préusinés pour constituer des parties de parois comme des planchers, des murs, ou des supports de couverture et toitures terrasses. Il permet la réalisation d'ouvrages résidentiels (bâtiments d'habitation) et non résidentiels (bureaux, ERP, bâtiment industriels). L'orientation orthogonale des planches croisées assure une stabilité dimensionnelle du produit (par exemple retrait-gonflement moindre comparé au bois seul) et une capacité résistante bidirectionnelle du panneau.

Cette technique présente l'avantage de pouvoir se combiner à de nombreuses solutions standard d'isolation thermique et acoustique (plafonds suspendus, chapes isolées, cloisons de doublage, etc.). *Le CLT est très intéressant du point de vue de la thermique d'été sans que les performances thermiques d'hiver ne soient dégradées vis-à-vis des constructions à ossature bois traditionnelles. De même, les panneaux CLT mis en œuvre en plancher constituent une masse intéressante du point de vue acoustique tant au niveau des bruits de chocs que des bruits aériens.*

Le présent guide est destiné à préciser les détails de mise en œuvre et de conception des ouvrages composés de panneaux CLT en mettant l'accent sur les interactions entre corps d'état. Les solutions thermiques et acoustiques présentées sont des exemples répondant à la réglementation au moment de la publication de ce guide sans être exhaustives.