

# Perméabilité à la vapeur d'eau du CLT

## ENVELOPPE OSSATURE



Réalisation :



INSTITUT  
TECHNOLOGIQUE



©FCBA

Avec le soutien de :



comité professionnel de développement  
des industries françaises de l'ameublement et du bois

## REALISATION



L'Institut Technologique FCBA (Forêt Cellulose Bois-Construction Ameublement), a pour mission de promouvoir le progrès technique, participer à l'amélioration de la performance et à la garantie de la qualité dans l'industrie. Son champ d'action couvre l'ensemble des industries de la sylviculture, de la pâte à papier, de l'exploitation forestière, de la scierie, de l'emballage, de la charpente, de la menuiserie, de la préservation du bois, des panneaux dérivés du bois et de l'ameublement. FCBA propose également ses services et compétences auprès de divers fournisseurs de ces secteurs d'activité. Pour en savoir plus : [www.fcba.fr](http://www.fcba.fr)



Établissement public au service de l'innovation dans le bâtiment, le CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment exerce quatre activités clés : la recherche, l'expertise, l'évaluation, et la diffusion des connaissances, organisées pour répondre aux enjeux de développement durable dans le monde de la construction. Son champ de compétences couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes. Avec ses 900 collaborateurs, ses filiales et ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux, le CSTB est au service de l'ensemble des parties prenantes de la construction pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments. Pour en savoir plus : [www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)

## FINANCEMENT



Le CODIFAB, Comité Professionnel de Développement des Industries Françaises de l'Ameublement et du Bois, a été créé à la demande des professions de l'ameublement et de la seconde transformation du bois : CAPEB, UFME, UICB, UIPC, UIPP, UMB-FFB, UNAMA et Ameublement Français.



Le CODIFAB a pour mission de conduire et financer, par le produit de la Taxe Affectée, des actions d'intérêt général, décidées par les représentants des professionnels et dans le cadre des missions des CPDE.

Ces actions, collectives, ont pour objectif de faciliter l'évolution des entreprises de création, de production et de commercialisation pour assurer leur compétitivité, en favorisant une meilleure diffusion de l'innovation et des nouvelles technologies, en améliorant l'adaptation aux besoins du marché et aux normes environnementales, en soutenant les actions de promotion, en accompagnant le développement international des entreprises, en encourageant la formation, en procédant à toutes études concernant les domaines d'activité intéressés, en diffusant les résultats, et en favorisant toutes les initiatives présentant un intérêt pour l'ensemble de la profession.

Pour en savoir plus : [www.codifab.fr](http://www.codifab.fr)

Les professionnels de CLT France sont souvent confrontés à une problématique sur les transferts de vapeur et sur la nécessité ou non de mettre en œuvre une barrière à la diffusion de vapeur d'eau.

Afin de mieux appréhender le comportement hygrothermique des panneaux CLT utilisés en parois verticales et en plancher bas sur vide sanitaire et maîtriser les risques liés aux transferts de vapeur d'eau dans les parois, une étude a été proposée par FCBA, avec l'appui du CSTB.

Cette étude est composée de cinq étapes principales :

- 1- Etat des lieux des caractérisations existantes.
- 2- Etude de sensibilité en fonction des données disponibles : modélisations pour analyser l'impact des principaux paramètres sur les résultats pour des parois types (CLT collé ou cloué, type de colle, bois résineux ou feuillus, nombre de plis, collage ou non des chants des lamelles,...)
- 3- Réalisation d'essais en laboratoire pour mesurer la résistance à la diffusion de vapeur d'eau de panneaux CLT et caractériser le comportement hygrothermique de panneaux CLT représentatifs de la production française
- 4- Création des données génériques sur la base de l'analyse et de l'interprétation des essais permettant aux concepteurs d'ouvrages de réaliser des simulations numériques
- 5- Simulations numériques sur des parois types représentatives (parois verticales CLT isolées par l'intérieur, par l'extérieur, planchers bas sur vide sanitaires isolés par le dessus ou par le dessous, ...)

Par ailleurs, ces travaux ont été menés conjointement à ceux d'une autre étude cofinancée par le CODIFAB, le SIPEV et le SNMI concernant la mise en œuvre de systèmes d'enduit sur isolant par l'extérieur (ETICS) sur support bois. Le comportement hygrothermique des CLT en tant que support d'ETICS est lui-même peu développé dans les Règles de l'Art existantes. Le présent rapport intègre donc une partie dédiée aux CLT revêtus de systèmes ETICS.

## ETUDE DE SENSIBILITE

- L'effet barrière du CLT modélisé pli par pli est plus faible que celui des CLT de la base de données du logiciel WUFI
- Pour les CLT sans colle, le comportement est identique quel que soit le nombre de plis
- Les plans de collage apportent un léger effet barrière (seulement 1 à 2% en humidité relative) : l'effet barrière est réduit de par la faible épaisseur des plans de collage et surtout en raison de la masse hygroscopique du bois.
- On ne constate aucune différence entre un chant collé ou non collé : la colle, bien que conférant un léger effet barrière, est trop localisée pour avoir un effet visible à l'échelle paroi, car il n'y a pas de convection dans le CLT, l'air est immobile.
- De même, aucune différence n'est constatée entre les joints de bout serrés ou écartés, remplis de colle ou non

## MODELISATIONS PARTIES COURANTES ET POINTS SINGULIERS

### Parois en partie courantes

#### ✓ **Paroi verticale en CLT avec isolation par l'extérieur**

L'humidité dans le panneau CLT, quel que soit le pli, est faible : inférieure à 8%

Cependant, ces parois montrent une humidité relative importante de l'isolant proche du pare-pluie. Quel que soit le type d'isolant, l'humidité relative maximale atteinte par le produit peut être supérieure à 98%. Les effets combinés de très basses températures et de la barrière à la vapeur d'eau (même faible) du pare-pluie entraînent une accumulation de vapeur d'eau modérée mais suffisante pour atteindre ces niveaux d'humidité relative. Comme cette humidité est d'origine extérieure, installer une barrière à la vapeur d'eau du côté intérieur ne diminuerait pas cette accumulation. Il conviendra donc de choisir pour ces parois des isolants susceptibles de « supporter » cette humidité ponctuellement élevée.

#### ✓ **Paroi verticale en CLT avec isolation par l'intérieur**

Les parois comportant des panneaux CLT du côté extérieur et un pare-vapeur intérieur ayant un Sd de 18 m affichent une humidité relative satisfaisante, quel que soit le produit ou l'endroit dans les produits. Les humidités relatives maximales atteintes sont inférieures à 80%, quel que soit le climat utilisé.

Par contre, en modifiant le type de pare-vapeur et en passant d'un Sd de 18 m à un Sd de 2 m, les quantités de vapeur d'eau absorbées par les produits deviennent très importantes.

Le cas modélisé n°7 voit ses teneurs en eau augmenter d'année en année. Au bout de 5 ans, la croissance de la teneur en eau se poursuit et la cinquième année, les humidités relatives sont supérieures à 95 % pour le pli intérieur du panneau en CLT et pour la

partie de l'isolant contre les panneaux de CLT. La teneur en eau du pli intérieur du CLT est supérieure à 24% en masse.

Pour ce cas n°7, les conditions de salubrité ne sont pas respectées.

## ✓ **Paroi verticale en CLT avec isolation principale par l'extérieur et complément d'isolant par l'intérieur**

Le doublage isolant positionné côté intérieur par rapport au CLT fait légèrement augmenter l'humidité dans le pli intérieur du CLT (par rapport aux cas 1 à 4), mais tout en restant inférieure à 12%. Le respect de la règle des 2/3 – 1/3 (2/3 de la résistance thermique côté extérieur de la paroi par rapport au CLT, 1/3 côté intérieur) permet d'avoir des conditions hygrométriques correctes.

## ✓ **Plancher bas sur vide sanitaire avec isolant en sous-face du CLT**

Quel que soit le type d'isolant, les teneurs en eau des panneaux CLT de ces différents cas de calcul restent inférieures aux seuils pour lesquels pourraient survenir des conditions défavorables pour le panneau CLT lui-même (humidité inférieure à 17% sans pare-vapeur, inférieure à 12% avec pare-vapeur).

En l'absence de pare-vapeur au-dessus du CLT ou de revêtement de sol dont le  $S_d$  est supérieur ou égal à 18 m, l'humidité dans le pli supérieur du panneau CLT peut avoisiner le 17%, ce qui implique des justifications mécaniques en classe de service 2.

## ✓ **Plancher bas sur vide sanitaire avec isolant au-dessus du CLT**

Pour un isolant type PSE d'épaisseur 140mm, résistant à la diffusion de vapeur d'eau, même en l'absence d'un pare-vapeur au-dessus de l'isolant, les teneurs en eau des panneaux CLT restent inférieures aux seuils pour lesquels pourraient survenir des conditions défavorables pour le panneau CLT lui-même.

Pour un isolant fibreux (minéral ou végétal), la mise en œuvre d'un pare-vapeur permet également d'avoir des teneurs en eau qui restent inférieures aux seuils pour lesquels pourraient survenir des conditions défavorables dans le CLT.

L'humidité la plus élevée constatée est celle du pli extérieur, au contact du vide sanitaire, et indépendamment de la composition du reste de la paroi, son humidité est directement liée à celle du vide sanitaire, ce qui implique des justifications mécaniques en classe de service 2.

## ✓ **Paroi verticale CLT avec système ETICS**

Les teneurs en eau des panneaux CLT de ces différents cas de calcul restent inférieurs aux seuils pour lesquels pourraient survenir des conditions défavorables pour le panneau CLT lui-même.

Cependant, lorsque le système d'enduit a un  $S_d$  élevé ( $S_d = 2$  m), il faut signaler que quel que soit le type d'isolant, l'humidité peut avoisiner 18% dans le CLT, ce qui implique des justifications mécaniques en classe de service 2.

Avec la présence d'un pare-vapeur de  $S_d = 18$  m côté intérieur de la paroi, quel que soit l'isolant ou la nature de l'enduit, le teneur en eau dans le CLT ne dépassent jamais 10%.

## Points singuliers

- ✓ **Liaison mur CLT isolé par l'extérieur et plancher bas en béton avec isolant sous chape**

Les teneurs en eau maximales observées dans cette liaison sont identiques à celles des murs en parties courantes. La liaison de la paroi en CLT isolée par l'extérieur avec une dalle en béton comportant une isolation continue sous chape ne modifie pas les critères d'analyse. Ainsi un mur en partie courante répondant aux différents critères répondra également à ces critères lorsque celle-ci est en liaison avec une dalle en béton, pour peu qu'il y ait une arase avec la dalle et une étanchéité avec la chape.

L'humidité dans l'isolant contre le panneau CLT en pied de mur peut être ponctuellement élevée, tout en étant trop faible pour présenter un risque de condensation, il conviendra donc de choisir pour ces parois des isolants susceptibles de « supporter » cette humidité ponctuellement élevée.

- ✓ **Liaison mur CLT isolé par l'extérieur et plancher bas en béton avec isolant sous dalle**

Les teneurs en eau maximales observées dans cette liaison sont identiques à celles des murs en parties courantes. La liaison et le plancher bas en béton isolé en sous-face n'apportent pas d'eau supplémentaire, pour peu qu'il y ait une arase avec le béton.

- ✓ **Liaison mur CLT isolé par l'extérieur et plancher bas CLT isolé en sous-face sur vide sanitaire**

Les teneurs en eau maximales observées dans cette liaison sont identiques à celles des murs en parties courantes. La liaison et le plancher bas CLT n'apportent pas d'eau supplémentaire, pour peu qu'il y ait une arase avec le béton.

- ✓ **Liaison mur CLT isolé par l'extérieur et plancher bas CLT isolé par le dessus sur vide sanitaire**

Les teneurs en eau maximales observées dans cette liaison sont légèrement supérieures à celles des murs en parties courantes et notamment très localement en pied de mur, sur le pli intérieur où l'épaisseur de l'isolant au-dessus du plancher est combinée à l'absence de pare-vapeur. A cet endroit l'humidité atteint 18,3%, ce qui constitue une limite d'utilisation.

- ✓ **Liaison mur CLT avec système ETICS et plancher bas CLT isolé par le dessus sur vide sanitaire**

La teneur en eau dans le pli inférieur du CLT du plancher augmente d'une année sur l'autre, ce qui constitue un risque pour la salubrité du bois. L'effet barrière du système ETICS combiné à la présence de l'isolant au-dessus du plancher produit ce confinement en tête de plancher.

- ✓ **Mur CLT isolé par l'extérieur avec ferrure traversant l'isolant**

En climat de montagne (très froid) l'humidité dans le CLT au contact de la ferrure augmente de 3% par rapport à la paroi en partie courante, tout en restant dans des niveaux faibles (12,6% maximum). Le pont thermique lié à la présence d'un connecteur métallique ne perturbe donc pas significativement le comportement hygrothermique de la paroi.

## CREATION DE DONNEES GENERIQUES POUR LA MODELISATION DE PAROIS CLT

### ✓ Données communes aux colles MUF et PU (après séchage) :

- Masse volumique sèche : 500 kg/m<sup>3</sup>
- Porosité : 0,0001 m<sup>3</sup> / m<sup>3</sup>
- Capacité thermique massique : 2300 J / (kg.K)
- Conductivité thermique : 2,3 W / (m.K)

### ✓ Facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau $\mu$ d'une colle MUF

- $\mu$  de la colle MUF en coupelle sèche de 5200,
- $\mu$  de la colle MUF en coupelle humide de 1650,

### ✓ Facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau $\mu$ d'une colle PU

- $\mu$  de la colle PU en coupelle sèche de 8850,
- $\mu$  de la colle PU en coupelle humide de 3450,

A noter que pour une utilisation avec le logiciel WUFI, les matériaux insérés dans les modèles doivent avoir une épaisseur minimale de 1 mm.

Il convient donc de ramener l'épaisseur « vraie » des plans de collage à 1 mm en adaptant en conséquence le facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau pour qu'il reste équivalent.

Par exemple, pour une colle PU, pour un plan de collage « réel » (mesuré sur le CLT) de 0,15 mm, on aura comme facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau à paramétrer dans WUFI  $8850 \times 0,15 = 1328$ .

## PROPOSITION DE REGLES DE CONCEPTION HYGROTHERMIQUE POUR LES PAROIS VERTICALES ET LES PLANCHERS BAS A BASE DE CLT

### Préambule et prescriptions générales

La proposition de règles de conception ci-dessous est valable uniquement :

- pour des parois à base de panneaux CLT composés au minimum de 3 plis pour les parois verticales et 5 plis pour les planchers bas sur vide sanitaire (CLT collés à chant ou non, ou CLT cloués).
- pour des constructions en climats français métropolitains (y compris climat de montagne)
- pour des locaux à faible ou moyenne hygrométrie, au sens de l'annexe D de la partie 1-1 du NF DTU 31.2 – 2011 (ou annexe B, pour la version 2019)
- pour des parois possédant un système d'étanchéité à l'air continu
- pour des parois non revêtues côté extérieur, ou revêtues côté extérieur avec un matériau (membrane pare-pluie, plaque jouant une fonction écran incendie,...) dont la valeur Sd est inférieure ou égale à 0,3 m (hors système ETICS, voir chapitre 7.2.3 du rapport global).

- pour des parois possédant un isolant d'un côté ou de l'autre du panneau CLT (ou de part et d'autre dans le cas de parois avec doublage intérieur) de résistance thermique supérieure ou égale à  $3,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ .
- Les vides de construction (jeux d'assemblage entre panneaux CLT par exemple) doivent être inférieurs à 10 mm, sinon, à partir de 10 mm, ils doivent être remplis d'isolant.

Les locaux visés par ces règles de conception peuvent être ponctuellement et temporairement rafraîchis en période chaude par un système d'appoint associé à la ventilation mécanique, pour autant que la température de consigne soit telle que la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur soit inférieure ou égale à  $5^\circ\text{C}$ .

La présence de ferrures métalliques ponctuelles (par opposition à ces ferrures filantes sur la longueur de la façade) et d'épaisseur de plaque inférieure ou égale à 6 mm et traversant l'isolant côté l'extérieur du CLT ne pose pas de problème de salubrité.

Les prescriptions ci-dessous peuvent être optimisées au cas par cas pour des projets particuliers grâce à des modélisations spécifiques prenant en compte les climats extérieurs et intérieurs particuliers du site de construction, et la composition précise des panneaux CLT du chantier (type de colle, épaisseur des plans de collage, nombre de plis, épaisseur des plis,...) avec des données matériaux conformes au chapitre 5.2 du rapport global.

## Cas des parois verticales avec revêtement extérieur ventilé

### ✓ Parois isolées exclusivement ou majoritairement par l'extérieur

Quel que soit le type d'isolant, la mise en œuvre d'un pare-vapeur est facultative.

Pour des parois isolées exclusivement par l'extérieur, le dimensionnement de la structure, d'un point de vue strictement hygrothermique, pourrait être réalisé en classe de service 1.

Dans le cas de parois avec complément d'isolant côté intérieur, la règle dite des  $2/3 - 1/3$  peut être appliquée à la paroi : La résistance thermique de l'isolant positionné côté intérieur par rapport au CLT doit être inférieure à la moitié de la résistance thermique de l'isolant positionné côté extérieur par rapport au CLT. De plus, dans ce cas de parois avec complément d'isolant côté intérieur, le dimensionnement de la structure doit être réalisé en classe de service 2.

### ✓ Parois isolées exclusivement par l'intérieur

Dans ce cas, un pare-vapeur continu de  $S_d$  supérieur ou égal à 18 m doit être mis en œuvre côté intérieur par rapport à l'isolant.

Le dimensionnement de la structure doit être réalisé en classe de service 2.

Les vides de construction dès lors qu'ils sont supérieurs à 2 mm d'épaisseur, doivent être remplis d'isolant (type laine minérale compressible) ou d'un matériau de calfeutrement de résistance thermique supérieure ou égale à  $1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  (positionné côté extérieur de la paroi si le vide n'est pas rempli entièrement).

## Cas des parois verticales avec systèmes ETICS



Le système complet d'enduit (couche(s) de base + finition(s)) doit avoir un  $S_d$  inférieur ou à égal à 2 m, déterminé selon les exigences de l'ETAG 004.

En l'absence de pare-vapeur dont le  $S_d$  est supérieur ou égal à 18 m mis en œuvre côté intérieur par rapport au CLT, les justifications mécaniques devront être réalisées en classe de service 2.

Si un pare-vapeur dont le  $S_d$  est supérieur ou égal à 18 m est mis en œuvre, le dimensionnement de la structure, d'un point de vue strictement hygrothermique, pourrait être réalisé en classe de service 1.

## Cas des planchers bas sur vide sanitaire

### ✓ Règles générales pour tous les planchers

Le vide sanitaire doit être « bien ventilé » au sens du DTU 51.3 : la surface totale des orifices de ventilation doit être régulièrement répartie sur la périphérie du vide sanitaire et être supérieure ou égale à  $1/150^{\text{ème}}$  de la surface totale du plancher.

Une barrière d'étanchéité vis à vis des remontées capillaires, conforme aux exigences du NF DTU 31.2 doit être mise en œuvre entre le plancher CLT et le soubassement en maçonnerie ou en béton.

### ✓ Avec isolation en sous-face du plancher CLT

La sous-face de l'isolant au contact du vide sanitaire ne doit pas être revêtue, ou revêtue avec un matériau (membrane ou plaque) dont la valeur  $S_d$  est inférieure ou égale à 0,3 m.

En l'absence de pare-vapeur au-dessus du CLT ou d'un revêtement de sol continu et étanche à l'air dont le  $S_d$  est supérieur ou égal à 18 m, les justifications mécaniques devront être réalisées en classe de service 2.

Si un pare-vapeur ou un revêtement de sol continu et étanche à l'air dont le  $S_d$  est supérieur ou égal à 18 m est mis en œuvre au-dessus du panneau CLT de plancher, le dimensionnement de la structure, d'un point de vue strictement hygrothermique, pourrait être réalisé en classe de service 1.

### ✓ Avec isolation au-dessus du panneau CLT

Le dimensionnement de la structure doit être réalisé en classe de service 2.

Si l'isolant mis en œuvre possède un facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau supérieur ou égal à 50 (par exemple certains isolants type PSE, PSX, PU), la mise en œuvre d'un pare-vapeur est facultative.

Pour tout autre type d'isolant, un pare-vapeur ou un revêtement de sol continu et étanche à l'air de  $S_d$  supérieur ou égal à 18 m doit être mis en œuvre côté intérieur par rapport à l'isolant.

Si ce plancher est mis en œuvre en association avec une paroi verticale revêtue d'un système ETICS, un pare-vapeur ou un revêtement de sol continu et étanche à l'air de  $S_d$  supérieur ou égal à 18 m doit être mis en œuvre côté intérieur par rapport à l'isolant du plancher, quel qu'il soit.

Les vides de construction dès lors qu'ils sont supérieurs à 2 mm d'épaisseur, doivent être remplis d'isolant (type laine minérale compressible) ou d'un matériau de

calfeutrement de résistance thermique supérieure ou égale à  $1,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  (positionné côté extérieur de la paroi si le vide n'est pas rempli entièrement).

## Cas particulier des isolants à base de fibres végétales intégrés aux parois CLT

En référence au cahier CSTB 3713\_V2 (Guide technique spécialisé pour la constitution d'un dossier de demande d'Avis Technique : Isolants à base de fibres végétales ou animales), l'évaluation de la résistance aux moisissures des isolants devront être réalisés :

- Selon le scénario HR95 pour :
  - Les isolants des parois isolées par l'extérieur, en une seule couche d'isolant
  - Les isolants des parois isolées par l'extérieur, pour des isolants en plusieurs couches, pour les 4 premiers centimètres côté extérieur, ou toute la couche extérieure si celle-ci à une épaisseur supérieure à 4 cm
  - Les compléments d'isolant côté intérieur par rapport au CLT
  - Les isolants des planchers bas positionnés côté extérieur par rapport au CLT
- Selon le scénario HR85 pour :
  - Les isolants des parois isolées par l'intérieur avec pare-vapeur de  $S_d$  supérieur ou égal à 18 m
  - Les isolants des parois isolées par l'extérieur, en plusieurs couches, pour les couches situées plus vers l'intérieur du bâtiment (à plus de 4 cm du nu extérieur de la paroi)
  - Les isolants des planchers bas sur vide sanitaire, lorsqu'ils sont positionnés au-dessus du CLT, et sous un pare-vapeur ou un revêtement de sol continu et étanche à l'air de  $S_d$  supérieur ou égal à 18 m