

Guide sur les dispositions et règles de calcul relatives aux systèmes d'étanchéité à la vapeur d'eau pour les combles

Ce document annule et remplace le CPT 3647 paru dans les *Cahiers du CSTB*, en novembre 2008.

Groupe Spécialisé n° 20

Produits et procédés spéciaux d'isolation

Ce document a été entériné par le Groupe Spécialisé n° 20
le 6 mai 2020.

CSTB, 84 avenue Jean Jaurès, Champs-sur-Marne, FR-77447 Marne-la-Vallée Cedex 2
Tél : 01 64 82 82 – Internet : www.cstb.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 la transition écologique et énergétique 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 plus de 900 collaborateurs, ses filiales et ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux, le groupe CSTB est au service de l'ensemble des parties prenantes de la construction pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments.

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre Français d'Exploitation du droit de copie (3, rue Hautefeuille, 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 1^{er} juillet 1992 – art. L 122-4 et L 122-5 et Code Pénal art. 425).

© CSTB 2020

Sommaire :

1	Objet et domaine d'application	5
2	Référentiels	6
2.1	Référentiels des produits ou matériaux.....	6
2.2	Règles de l'art des ouvrages.....	6
3	Définitions et formules	7
3.1	Définitions	7
3.1.1	Perméabilité à la vapeur d'eau d'un matériau : δ	7
3.1.2	Perméance à la vapeur d'eau d'un matériau : W	7
3.1.3	Résistance à la diffusion de la vapeur d'eau : Z	7
3.1.4	Coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau d'un matériau : μ	7
3.1.5	Épaisseur d'air équivalente pour la diffusion de vapeur d'eau : S_d	7
3.1.6	Hygrométrie	7
3.1.7	Isolant non hygroscopique	7
3.1.8	Zone très froide.....	8
3.1.9	Ratio de ventilation.....	8
3.2	Formules	8
3.3	Terminologie	9
3.3.1	Membrane	9
3.3.2	Membrane pare-vapeur.....	9
3.3.3	Système d'étanchéité à la vapeur d'eau	9
4	Propriétés des matériaux	9
4.1	Valeurs par défaut des caractéristiques des matériaux usuels dans le bâtiment	9
4.2	Exemples de calcul de résistance à la diffusion de la vapeur d'eau.....	9
4.2.1	Isolant de polystyrène expansé.....	9
4.2.2	Isolant de laine minérale soufflée en vrac	9
4.2.3	Autre isolant	9
4.2.4	Plafond en plaque de plâtre	9
4.2.5	Surface de répartition en panneau de particule de bois	10
4.2.6	Film polyéthylène 0,15 mm	10
4.2.7	Membrane pare-vapeur.....	10
4.3	Propriétés de transmission de la vapeur d'eau d'un pare vapeur ou d'un système d'étanchéité à la vapeur d'eau	10
5	Exigences dans le cas d'isolation sur planchers de combles perdus (ou sur plafonds suspendus) avec ou sans écran de sous-toiture, avec ou sans surface de répartition ou chemin de circulation	11
5.1	Ventilation du comble perdu avec ou sans écran de sous-toiture, sans surface de répartition	11
5.2	Sections de ventilations	12
5.3	Type de couvertures	13
5.4	Exigences relatives aux systèmes d'étanchéité à la vapeur d'eau : cas de plancher de comble perdu	13
5.4.1	Cas de l'isolation en plancher de comble perdu (y compris plafond suspendu) Exemples de calcul pour des configurations usuelles du plancher de comble perdu.....	14
5.4.2	Comble perdu ventilé - Isolant recouvert partiellement par un chemin de circulation.....	16
5.4.3	Comble perdu ventilé - Isolant recouvert d'une surface de répartition	16

5.4.4	Isolation en sous-face de plancher de combles perdus	17
6	Exigences relatives aux systèmes d'étanchéité à la vapeur d'eau : cas de rampants	19
7	Annexe : exemples d'application pour isolation sur plancher de comble perdu	20
7.1	Exemple 1 : Pose sans système d'étanchéité à la vapeur d'eau (hors zone très froide).....	20
7.2	Exemple 2 : Pose avec système d'étanchéité à la vapeur d'eau (hors zone très froide).....	20
7.3	Exemple 3 : Pose sans système d'étanchéité à la vapeur d'eau (hors zone très froide).....	20
7.4	Exemple 4 : Pose d'un système d'étanchéité à la vapeur d'eau (hors zone très froide)	21
8	Annexe : valeurs par défaut	22
8.1	Panneaux bois	22
8.2	Panneaux à base de bois.....	22
8.2.1	Panneaux contreplaqués	22
8.2.2	Panneaux à lamelles longues et orientées (OSB).....	22
8.2.3	Panneaux de particules liées au ciment.....	22
8.2.4	Panneaux de particules.....	22
8.3	Matériaux isolants manufacturés.....	23
8.3.1	Laines minérales.....	23
8.3.2	Liège	23
8.3.3	Matières plastiques alvéolaires	24
8.3.4	Plaques à base de perlite expansée	24
8.3.5	Plaques de verre cellulaire	24
8.3.6	Produits manufacturés à base de fibres végétales ou animales	24
8.4	Béton.....	25
8.4.1	Béton plein	25
8.4.2	Béton caverneux	25
8.4.3	Bétons de granulats légers	25
8.4.4	Béton de ponce naturelle	25
8.6	Plâtres.....	26
8.7	Terre cuite	26

1 Objet et domaine d'application

Le présent document concerne les dispositions et règles de calcul relatives aux systèmes d'étanchéité à la vapeur d'eau vis-à-vis des risques de condensation de vapeur d'eau au sein des parois.

La mise en œuvre des procédés et produits d'isolation thermique est traitée dans les textes cités au § 2.2.

Ce document vise les ouvrages réalisés dans les bâtiments neufs ou existants suivants :

- Isolation des planchers de combles perdus ventilés sur l'extérieur ;
 - o Au-dessus du plancher,
 - o Au-dessous du plancher,
 - o Sur, entre et/ou sous solives avec plafond suspendu (plaque de plâtre, bois, ...)
- Isolation en sous-face des rampants de couverture, faux combles et pieds droits ;

Ce document traite des transferts de vapeur d'eau des locaux chauffés vers les locaux non chauffés ou l'extérieur.

Le présent document est applicable quelle que soit la nature constitutive de l'isolant.

Ce document est applicable exclusivement pour les locaux sous-jacents à l'isolation, à faible ou moyenne hygrométrie.

Le document est applicable pour la France métropolitaine.

Ce document ne traite que le phénomène de risque de condensation et ne traite pas le risque de développement fongique.

Ce document ne traite pas des toitures et couvertures chaudes (toiture isolée en sous-face des plaques nervurées, et caractérisée très généralement par l'absence d'une lame d'air ventilée entre la sous-face de la couverture et l'isolation).

Ce document ne traite pas des transferts de vapeur d'eau des locaux climatisés.

Nota : Ce document ne traite pas de l'étanchéité à l'air des parois.

2 Référentiels

2.1 Référentiels des produits ou matériaux

Pour pouvoir exécuter les calculs de transferts de vapeur d'eau, il convient de déterminer pour chacun des matériaux constituant la paroi leurs caractéristiques de diffusion à la vapeur d'eau.

Généralement, il s'agit pour les matériaux opaques de la caractéristique nommée Z et pour les matériaux en feuilles de la caractéristique s_d (épaisseur d'air équivalente pour la diffusion de vapeur d'eau en m).

Les normes de méthodes d'essais permettant de mesurer ces caractéristiques sont les suivantes :

- NF EN 12086 : ;
- NF EN 1928 ;
- NF EN ISO 12572 ;
- NF EN 1931.

Les valeurs de ces caractéristiques Z et S_d par défaut sont données par la norme NF EN ISO 10456 reprise dans les Règles Th-Bât.

2.2 Règles de l'art des ouvrages

Le présent document s'appuie sur les mises en œuvre décrites dans les règles de l'art et notamment :

- NF DTU de la série 40 (Couverture) suivants : 40.11, 40.13, 40.14, 40.21, 40.211, 40.22, 40.23, 40.24, 40.241, 40.25, 40.29, 40.37, 40.41, 40.44, et 40.45,
- NF DTU 43.4 : Toitures en éléments porteurs en bois et panneaux dérivés du bois avec revêtements d'étanchéité ;
- NF DTU de la série 25 (Plâtrerie et revêtements intérieurs) suivants : 25.41, 25.42, 25.51 et 25.231 ;
- NF DTU 58.1 : Plafonds suspendus modulaires ;
- NF DTU 51.3 : Plancher en bois ou en panneaux à base de bois ;
- NF DTU 45.11 : Isolation thermique de combles par soufflage d'isolant en vrac (laines minérales ou ouate de cellulose papier)
- NF DTU 45.10 : Isolation des combles par panneaux ou rouleaux en laines minérales manufacturées
- NF DTU 31.2 : Construction de maisons et bâtiments à ossature en bois ;
- CPT plancher béton *Cahiers du CSTB 2892_V2* ;
- CPT *e-Cahiers du CSTB 3560* (dernière version en vigueur) Isolation thermique des combles ; procédés à base de produits isolants en panneau ou rouleau
- CPT *e-Cahiers du CSTB 3693* (dernière version en vigueur) : Isolation thermique des combles ; procédés à base de produits isolants en vrac ;
- Procédés faisant l'objet d'Avis Technique ou Document Technique d'Application.

3 Définitions et formules

3.1 Définitions

Un système d'étanchéité à la vapeur d'eau comprend un produit dont la fonction est de limiter la transmission de la vapeur d'eau au sein d'une paroi, associé à ces accessoires de pose (mastics, bandes adhésives...) qui assurent l'étanchéité aux jonctions de l'ouvrage réalisé.

Les normes « NF EN ISO 12572 : Détermination des propriétés de transmission à la vapeur d'eau », NF EN 1931 « Feuilles souples d'étanchéité - Feuilles d'étanchéité de toiture bitumineuses, plastiques et élastomères - Détermination des propriétés de transmission de la vapeur d'eau » et « NF EN 12086 – Détermination des propriétés de transmission de la vapeur d'eau », donnent les principales définitions des notions ci-après.

3.1.1 Perméabilité à la vapeur d'eau d'un matériau : δ

C'est le rapport de la quantité de vapeur d'eau traversant un matériau par unité d'épaisseur ; par unité de temps et par unité de différence de pression de vapeur existant de part et d'autre du matériau.

Unité : kg/(m.s.Pa)

3.1.2 Perméance à la vapeur d'eau d'un matériau : W

C'est le rapport de la quantité de vapeur d'eau traversant un matériau par unité de surface, de temps et par unité de différence de pression de vapeur existant de part et d'autre du matériau. La perméance d'un matériau homogène est donc le rapport de la perméabilité à la vapeur d'eau et de son épaisseur.

$$W = \delta / d$$

Unité : kg/(m².s.Pa)

d : épaisseur en m

3.1.3 Résistance à la diffusion de la vapeur d'eau : Z

La résistance à la diffusion de la vapeur d'eau est donnée selon la formule suivante :

$$Z = 1 / W$$

Unité : m².s.Pa/kg

3.1.4 Coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau d'un matériau : μ

C'est le rapport (sans dimensions) de la perméabilité à la vapeur d'eau de l'air sur la perméabilité à la vapeur d'eau du matériau.

$$\mu = \delta_{\text{air}} / \delta$$

Avec $\delta_{\text{air}} = 2 \cdot 10^{-10}$ kg/(m.s.Pa)

Cette valeur est issue de la norme NF EN ISO 12572. L'influence de la température et de la pression barométrique ont été prises égales à 23°C et 990 hPa.

3.1.5 Épaisseur d'air équivalente pour la diffusion de vapeur d'eau : S_d

Épaisseur d'une couche d'air ayant la même perméance que le matériau considéré.

$$S_d = \mu \cdot d$$

Unité : m

3.1.6 Hygrométrie

On définit quatre types de locaux :

- Local à faible hygrométrie : $W/n \leq 2,5$ g/m³
- Local à hygrométrie moyenne : $2,5 < W/n \leq 5$ g/m³
- Local à forte hygrométrie : $5 < W/n \leq 7,5$ g/m³
- Local à très forte hygrométrie : $W/n > 7,5$ g/m³

3.1.7 Isolant non hygroscopique

Un produit isolant est considéré non hygroscopique si la quantité d'eau adsorbée dans le produit à température ambiante est simultanément :

- Inférieure à 10% en masse pour HR = 80 %
- Inférieure à 20% en masse pour HR = 90 %

Dans le cas contraire il est considéré comme hygroscopique.

3.1.8 Zone très froide

La zone très froide est définie en climat de plaine par une température extérieure de base inférieure à -15 °C. Cette température est déterminée en fonction du site et de l'altitude dans les conditions de la NF P52-612/CN.

Nota : Les départements de la zone très froide sont le Bas-Rhin, le Haut-Rhin, les Vosges, le Territoire de Belfort, la Moselle et la Meurthe et Moselle.

3.1.9 Ratio de ventilation

Le ratio de ventilation est le rapport entre la section totale des orifices de ventilations et la surface projetée horizontalement de la couverture ; sauf dans le cas des plaques profilées de fibre-ciment pour lesquelles il s'agit du rapport entre la section totale des orifices de ventilation et la surface développée de la couverture.

3.2 Formules

Tableau 1 — Formules de conversion

	Formule	Unité
Perméance W	Valeur mesurée	kg/(m ² .s.Pa) ou g/(m ² .h.mmHg)
Perméabilité à la vapeur d'eau δ	$\delta = W \times d$	kg/(m.s.Pa) ou g/(m.h.mmHg)
Résistance à la diffusion de vapeur d'eau Z	$Z = 1 / W$	m ² .s.Pa/kg ou m ² .h.mmHg/g
Coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau μ	$\mu = \delta_{\text{air}} / \delta$	Sans unité
Epaisseur d'air équivalente pour la diffusion de vapeur d'eau S_d	$S_d = \mu \cdot d$	m
Autres formules : $Z = S_d / \delta_{\text{air}}$ $S_d = (\delta_{\text{air}} / \delta) \times d = \delta_{\text{air}} / W = Z \times \delta_{\text{air}}$ $Z = d / \delta = \mu \cdot d / \delta_{\text{air}}$ $\delta_{\text{air}} \approx 2 \cdot 10^{-10} \text{ kg/s.m.Pa}$		

Facteur de conversion :

Tableau 2 — Exemple de conversions

	g/(m ² .h.mmHg)	kg/(m ² .s.Pa)	mg/(m ² .h.Pa)
g/(m².h.mmHg)	1	$2,084 \cdot 10^{-9}$	7,502
kg/(m².s.Pa)	$4,798 \cdot 10^{+8}$	1	$3,6 \cdot 10^{+9}$
mg/(m².h.Pa)	0,1333	$2,778 \cdot 10^{-10}$	1

Exemples de détails de calcul de conversion :

En se basant sur une perméance de mesure de 0,02 g/(m².h.mmHg), la correspondance est la suivante :

$$W = 0,02 \text{ g/(m}^2\text{.h.mmHg)}$$

$$W = 0,02 \times 2,084 \cdot 10^{-9} \text{ kg/(m}^2\text{.s.Pa)} = 0,417 \cdot 10^{-10} \text{ kg/(m}^2\text{.s.Pa)}$$

Ou $W = 0,02 \text{ g/(m}^2\text{.h.mmHg)}$

$$W = 0,02 \times 7,502 \text{ mg/(m}^2\text{.h.Pa)} = 0,15 \text{ mg/(m}^2\text{.h.Pa)}.$$

De même, si le résultat de perméance mesurée est de 0,3 mg/(m².h.Pa) la correspondance est la suivante :

$$W = 0,3 \text{ mg/(m}^2\text{.h.Pa)}$$

$$W = 0,3 \times 0,133 \text{ g/(m}^2\text{.h.mmHg)} = 0,0399 \text{ g/(m}^2\text{.h.mmHg)}$$

Ou $W = 0,3 \text{ mg/(m}^2\text{.h.Pa)}$

$$W = 0,3 \times 2,778 \cdot 10^{-10} \text{ kg/(m}^2\text{.s.Pa)} = 0,844 \cdot 10^{-10} \text{ kg/(m}^2\text{.s.Pa)}.$$

3.3 Terminologie

3.3.1 Membrane

Membrane : feuilles plastiques et élastomères souples.

3.3.2 Membrane pare-vapeur

Définition selon la norme NF EN 13984, membrane pare-vapeur :

Membrane pare- vapeur : feuille souple plastique, élastomère ou composite, dont la fonction est de limiter la transmission de l'eau et/ou de la vapeur d'eau dans un mur, un plancher ou une couverture.

Note : Les pare-vapeur peuvent avoir différentes perméabilités à la vapeur d'eau suivant leur utilisation spécifique. Dans les feuilles composites, la feuille plastique est le composant fonctionnel.

3.3.3 Système d'étanchéité à la vapeur d'eau

Système d'étanchéité à la vapeur d'eau : procédé ou ouvrage étanchéité à la vapeur d'eau avec ses accessoires appropriés (bande adhésive, mastic, ...) permettant d'assurer une étanchéité continue à la vapeur d'eau de la paroi.

4 Propriétés des matériaux

4.1 Valeurs par défaut des caractéristiques des matériaux usuels dans le bâtiment

Se référer aux tableaux en annexe.

4.2 Exemples de calcul de résistance à la diffusion de la vapeur d'eau

4.2.1 Isolant de polystyrène expansé

Épaisseur : 100 mm ;

$$\mu = 60$$

$$\delta_{\text{air}} \approx 2 \cdot 10^{-10} \text{ kg/s}\cdot\text{m}\cdot\text{Pa}$$

La résistance à la diffusion de la vapeur d'eau de l'isolation Z_{DI} (isolant) est :

$$Z_{DI}(\text{isolant}) = \mu \cdot d / \delta_{\text{air}}$$

$$Z_{DI}(\text{isolant}) = 60 \times 0,1 / 2 \cdot 10^{-10}$$

$$Z_{DI}(\text{isolant}) = 3,0 \cdot 10^{10} \text{ m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{Pa/kg} \text{ (63 m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{mmHg/g)}$$

4.2.2 Isolant de laine minérale soufflée en vrac

Épaisseur : 350 mm ;

$$\mu = 1$$

Z_{DI} : résistance à la diffusion de la vapeur d'eau de l'isolation

Z_{DS} : résistance à la diffusion de la vapeur de la surface de répartition.

$$Z_{DI}(\text{isolant}) = \frac{d}{\delta} = \frac{\mu \cdot d}{\delta_{\text{air}}} = \frac{1 \cdot 0,35}{2,00 \cdot 10^{-10}} = 1,75 \cdot 10^9 \text{ m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{Pa/kg} \text{ (ou } 3,65 \text{ m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{mmHg/g)}$$

4.2.3 Autre isolant

Épaisseur : 300 mm ;

$$\mu = 50$$

$$Z_{DI}(\text{isolant}) = \frac{d}{\delta} = \frac{\mu \cdot d}{\delta_{\text{air}}} = \frac{50 \cdot 0,30}{2,00 \cdot 10^{-10}} = 75 \cdot 10^9 \text{ m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{Pa/kg} \text{ (ou } 156 \text{ m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{mmHg/g)}$$

4.2.4 Plafond en plaque de plâtre

Épaisseur : 13 mm ;

$$\mu = 10$$

Z_{DP} = la résistance à la diffusion de vapeur d'eau du plancher avant isolation, égale à celle de la plaque de plâtre.

$$Z_{DP}(\text{plancher}) = \frac{d}{\delta} = \frac{\mu \cdot d}{\delta_{\text{air}}} = \frac{10 \cdot 0,013}{2,00 \cdot 10^{-10}} = 6,50 \cdot 10^8 \text{ m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{Pa/kg} \text{ (ou } 1,35 \text{ m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{mmHg/g)}$$

4.2.5 Surface de répartition en panneau de particule de bois

Épaisseur : 12 mm ;

$\mu = 50$

$$Z_{DS}(\text{surface de répartition}) = \frac{d}{\delta} = \frac{\mu * d}{\delta_{air}} = \frac{50 * 0,012}{2,00.10^{-10}} = 3,00.10^9 \text{ m}^2.s.Pa/kg \text{ (ou } 6,25 \text{ m}^2.h.mmHg/g)$$

4.2.6 Film polyéthylène 0,15 mm

Épaisseur : 0,15 mm ;

$S_d = 50$

$$Z_{Df}(\text{film}) = S_d / \delta_{air}$$

$$Z_{Df}(\text{film}) = 50 / 2.10^{-10}$$

$$Z_{Df}(\text{film}) = 2,50.10^{11} \text{ m}^2.s.Pa/kg \text{ (521 m}^2.h.mmHg/g)$$

4.2.7 Membrane pare-vapeur

Épaisseur : 0,05 à 0,5 mm ;

$S_d = 18$

$$Z_{Dpv}(\text{pare vapeur}) = S_d / \delta_{air}$$

$$Z_{Dpv} = 18 / 2.10^{-10}$$

$$Z_{Dpv} = 9.10^{10} \text{ m}^2.s.Pa/kg \text{ (188 m}^2.h.mmHg/g)$$

4.3 Propriétés de transmission de la vapeur d'eau d'un pare vapeur ou d'un système d'étanchéité à la vapeur d'eau

Valeur déclarée :

La valeur déclarée de perméance à la vapeur d'eau ou du facteur de résistance à la vapeur d'eau doit être déterminée conformément à la norme NF EN 1931 et il doit être dans la tolérance déclarée de la valeur déclarée.

Vieillessement :

Selon la norme NF EN 13984, Le produit doit être exposé à une température élevée de 70 °C pendant 12 semaines conformément à la norme NF EN 1296. Le facteur de résistance à la vapeur d'eau du produit vieilli ne doit pas varier de plus de ± 50 % par rapport à celui d'un produit non vieilli lorsqu'il est soumis à essai conformément à la norme NF EN 1931.

Valeur utile pour les règles de calcul :

La valeur utilisée pour les règles de calcul relatives aux systèmes d'étanchéité à la vapeur d'eau vis-à-vis des risques de condensation de vapeur d'eau au sein des parois doit tenir compte de l'effet du vieillissement.

La valeur utilisée d'un matériau pour les règles de calcul doit correspondre à celle de son état humide, c'est-à-dire mesurée en coupelle humide (exemples en annexe).

5 Exigences dans le cas d'isolation sur planchers de combles perdus (ou sur plafonds suspendus) avec ou sans écran de sous-toiture, avec ou sans surface de répartition ou chemin de circulation

Les conditions d'application du document et les exigences décrites ci-après permettent d'assurer la conservation des bois considérant que le taux d'humidité relative de l'air du comble perdu n'est pas supérieur à 80 % HR (du fait que le volume du comble perdu doit rester ventilé), sauf conditions passagères.

Nota : La durabilité en œuvre des matériaux entrant dans la conception du plancher de comble perdu doit aussi tenir compte, même en l'absence de condensation, du risque de dégradation de chaque matériau en fonction de l'hygrométrie et de la température. L'exigence de l'absence de condensation n'est donc pas le seul critère à prendre en compte pour s'assurer de la pérennité de l'ouvrage. Il convient de se référer aux règles de l'art de mise en œuvre de la couverture et/ou de l'isolant.

5.1 Ventilation du comble perdu avec ou sans écran de sous-toiture, sans surface de répartition

Dans cette configuration, l'isolation est en contact avec l'air du comble perdu.

La figure 1 ci-dessous, montre les principes de ventilation du comble perdu avec ou sans écran de sous toiture qui doivent être respectés (quel que soit le type d'écran).

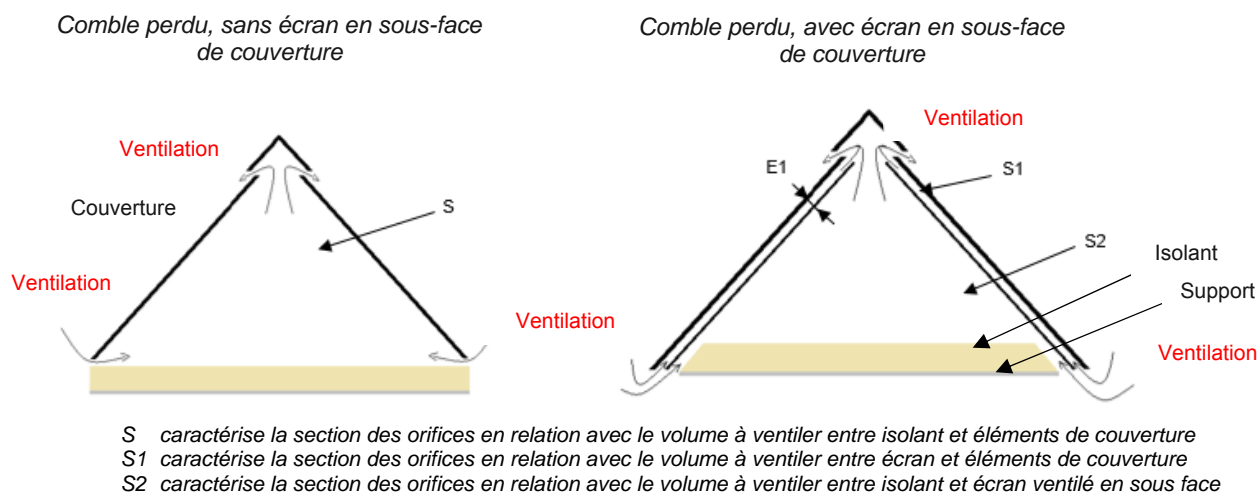


Figure 1 : Ventilation du comble perdu – isolation sur plancher

Le comble perdu doit toujours être ventilé, que la couverture comporte ou non en sous-face un écran.

Le tableau 3 suivant donne des exemples de sections d'entrée et de sortie d'air nécessaires dans le comble en fonction des différents rapports de ventilation proposés pour une couverture réalisée en deux pans avec une longueur de rampant projetée horizontalement de 5 m et pour une couverture inclinée à 47 % (25°).

Tableau 3 — Sections d'entrées et de sorties d'air en fonction des rapports de ventilation

Rapport considéré	Surface projetée prise en compte		Surface de la couverture prise en compte	
	Sections d'entrée d'air	Section de sortie d'air	Sections d'entrée d'air	Section de sortie d'air
	cm ² /m ⁽¹⁾	cm ² /m ⁽²⁾	cm ² /m ⁽¹⁾	cm ² /m ⁽²⁾
1/200	2 x 125	250	2 x 138	276
1/250	2 x 100	200	2 x 110	221
1/500	2 x 50	100	2 x 55	110
1/1 000	2 x 25	50	2 x 28	55
1/1 200	2 x 21	42	2 x 23	46
1/1 000	2 x 13	25	2 x 14	28
1/3 000	2 x 8	17	2 x 9	18
1/5 000	2 x 5	10	2 x 6	11

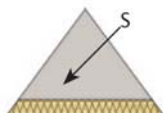
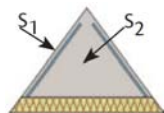
⁽¹⁾ Sections d'entrées d'air en cm² divisées par la longueur d'égout en m.

⁽²⁾ Section de sorties d'air en cm² divisées par la longueur de faîtage en m.

5.2 Sections de ventilations

Le tableau 4 suivant précise les sections en cm² de ventilation minimale en fonction du type de couverture, avec ou sans écran de sous-toiture, et du type de comble perdu. Il ne concerne que les couvertures en petits éléments. Pour les autres types de couverture, il convient de se référer aux NF DTU concernés.

Tableau 4 — Section totale des orifices de ventilation – Isolation sur plancher de comble perdu

Section totale des orifices de ventilation (1)			
La section totale des orifices de passage d'air doit être au moins égale aux valeurs indiquées ci-dessous :			
Type de couverture	NF DTU	Comble perdu isolé en plancher et sans écran de sous-toiture 	Comble perdu isolé en plancher avec écran de sous-toiture avec écran de sous-toiture 
Tuiles de terre cuite à emboîtement ou à glissement à relief	40.21	S = 1 / 5 000	S1 = 1 / 5 000 S2 = 1 / 3 000
Tuiles de terre cuite à emboîtement à pureau plat	40.211		
Tuiles plates de terre cuite	40.23		
Tuiles en béton à glissement et à emboîtement longitudinal	40.24		
Tuiles planes en béton à glissement et à emboîtement longitudinal	40.241		
Tuiles plates en béton	40.25	(2)	S1 = (2) S2 = 1 / 3 000
Tuiles canal de terre cuite	40.22		
<div>(1) La section totale (rapportée à la surface projetée) des orifices de ventilation doit être répartie pour moitié entre la partie basse du (ou des) versant(s) et, pour moitié, au voisinage du faîtage.</div> <div>(2) La conception des recouvrements des tuiles dans ce type de couverture assure une ventilation suffisante des tuiles et de leur support en bois massif ou en maçonnerie, lorsque les tuiles ne sont pas entièrement scellées.</div>			

Exemples de détermination des sections de ventilation

Exemple 1 :

- Cas d'une couverture en tuiles à emboîtement en terre cuite (NF DTU 40.21)
- Couverture simple à deux versants égaux.
- Surface projetée de couverture (ou surface couverte en plan horizontal) : 150 m².
- Comble perdu isolé en plancher avec un écran en sous-face de couverture.

Calcul de S1 : section totale des orifices de ventilation de l'espace entre la couverture et l'écran

- $S1 = 150 / 5\,000 = 0,03 \text{ m}^2$, soit 300 cm²

Calcul de S2 : section totale des orifices de ventilation de l'espace sous l'écran de couverture

- $S2 = 150 / 3\,000 = 0,05 \text{ m}^2$, soit 500 cm²

Les 800 cm² (S1 + S2) de ventilation totale (minimale) sont à répartir de la façon suivante :

- 200 cm² sur le linéaire (ou au voisinage) de chacun des égouts de versant
- 400 cm² sur le linéaire (ou au voisinage) du faîtage.

Exemple 2 :

Même configuration que l'exemple 1 mais sans écran en sous-face de la couverture.

Calcul de S : section totale des orifices de ventilation de l'espace entre la couverture et l'écran en sous-face de la couverture

- $S = 150 / 5\,000 = 0,03 \text{ m}^2$, soit 300 cm²

Les 300 cm² (S1 + S2) de ventilation totale (minimale) sont à répartir de la façon suivante :

- 75 cm² sur le linéaire (ou au voisinage) de chacun des égouts de versant
- 150 cm² sur le linéaire (ou au voisinage) du faîtage.

5.3 Type de couvertures

Tableau 5 — type de couvertures sous DTU

Couvertures en plaques profilées DTUs série 40.3	<ul style="list-style-type: none"> - Couverture en plaques nervurées issues de tôles d'acier revêtues selon DTU 40.35⁽¹⁾ - Couverture en plaques nervurées d'aluminium prélaqué ou non selon DTU 40.36⁽¹⁾ - Couverture en plaques ondulées en fibres-ciment selon DTU 40.37
Couvertures en feuilles métalliques supportées DTUs série 40.4	<ul style="list-style-type: none"> - Couverture par éléments métalliques en feuilles et longues feuilles en zinc selon DTU 40.41 - Couvertures par éléments métalliques en feuilles et longues feuilles en acier inoxydable selon DTU 40.44 - Couverture par éléments métalliques en feuilles et longues feuilles de cuivre selon DTU 40.45
Couvertures en petits éléments : DTUs séries 40.1 et 40.2	<ul style="list-style-type: none"> - Couverture en ardoises selon DTU 40.11 - Couverture en ardoises en fibres-ciment selon DTU 40.13 - Couverture en tuiles de terre cuite à emboîtement ou à glissement à relief selon DTU 40.21 - Couverture en tuiles de terre cuite à emboîtement à pureau plat selon DTU 40.211 - Couverture en tuiles canal de terre cuite selon DTU 40.22 - Couverture en tuiles plates de terre cuite selon DTU 40.23 - Couverture en tuiles en béton à glissement et à emboîtement longitudinal selon DTU 40.24 - Couverture en tuiles planes en béton à glissement et à emboîtement longitudinal selon DTU 40.241 - Couverture en tuiles plates en béton selon DTU 40.25 - Couverture en bardeaux bitumés selon DTU 40.14
⁽¹⁾ non visé dans ce document	

5.4 Exigences relatives aux systèmes d'étanchéité à la vapeur d'eau : cas de plancher de comble perdu

Tableau 6 — Exigences relatives aux systèmes d'étanchéité à la vapeur d'eau – Comble non aménagé – Isolation sur plancher

Couverture	Hygrométrie	Ratio de ventilation	Valeur minimale Z de la paroi pour laquelle un système d'étanchéité à la vapeur d'eau n'est pas requis en m².s.Pa/kg	
			Hors zone très froide ⁽³⁾	Zone très froide ⁽³⁾
Couvertures en feuilles métalliques supportées	Faible ou moyenne	Selon NF DTU de la série 40.4 concerné	$Z_{DP}+Z_{DI} > 1,44 \cdot 10^9$ (ou $>3 \text{ m}^2.\text{h.mmHg/g}$ ou $S_d > 0,3\text{m}$)	$Z_{DP}+Z_{DI} > 7,68 \cdot 10^9$ (ou $>16 \text{ m}^2.\text{h.mmHg/g}$ ou $S_d > 1,5 \text{ m}$)
Couvertures en plaques profilées		Selon NF DTU de la série 40.37 concerné		
Couvertures en petits éléments : • DTUs séries 40.1 et 40.2 Couvertures en petits éléments (hors bardeaux bitumés) : - Avec écran souple de sous toiture ne nécessitant pas une ventilation à sa sous-face - Avec écran souple de sous toiture nécessitant une ventilation à sa sous-face - Sans écran de sous toiture • DTU 40.14 Couvertures en petits éléments en bardeaux bitumés	Faible ou moyenne	$\geq 1/2 \cdot 500$	$Z_{DP}+Z_{DI} > 2,40 \cdot 10^{10}$ (ou $>50 \text{ m}^2.\text{h.mmHg/g}$ ou $S_d > 4,8\text{m}$)	$Z_{DP}+Z_{DI} > 2,40 \cdot 10^{10}$ (ou $>50 \text{ m}^2.\text{h.mmHg/g}$ ou $S_d > 4,8\text{m}$)
		$\geq 1/1 \cdot 200$	$Z_{DP}+Z_{DI} > 2,40 \cdot 10^{10}$ (ou $>50 \text{ m}^2.\text{h.mmHg/g}$ ou $S_d > 4,8\text{m}$)	$Z_{DP}+Z_{DI} > 2,40 \cdot 10^{10}$ (ou $>50 \text{ m}^2.\text{h.mmHg/g}$ ou $S_d > 4,8\text{m}$)
		$\geq 1/1 \cdot 000$	$Z_{DP}+Z_{DI} > 9,60 \cdot 10^9$ (ou $>20 \text{ m}^2.\text{h.mmHg/g}$ ou $S_d > 1,9\text{m}$)	$Z_{DP}+Z_{DI} > 9,60 \cdot 10^9$ (ou $>20 \text{ m}^2.\text{h.mmHg/g}$ ou $S_d > 1,9\text{m}$)
		$\geq 1/500$	$Z_{DP}+Z_{DI} > 9,60 \cdot 10^9$ (ou $>20 \text{ m}^2.\text{h.mmHg/g}$ ou $S_d > 1,9\text{m}$)	$Z_{DP}+Z_{DI} > 9,60 \cdot 10^9$ (ou $>20 \text{ m}^2.\text{h.mmHg/g}$ ou $S_d > 1,9\text{m}$)
		$\geq 1/250$	$Z_{DP}+Z_{DI} > 4,80 \cdot 10^9$ (ou $>10 \text{ m}^2.\text{h.mmHg/g}$ ou $S_d > 0,95\text{m}$)	$Z_{DP}+Z_{DI} > 4,80 \cdot 10^9$ (ou $>10 \text{ m}^2.\text{h.mmHg/g}$ ou $S_d > 0,95\text{m}$)
<div>1. Faible hygrométrie $W/n \leq 2,5 \text{ g/m}^3$. Moyenne hygrométrie : $2,5 \text{ g/m}^3 \leq W/n \leq 5 \text{ g/m}^3$.</div> <div>2. Le ratio de ventilation est le rapport entre la section totale des orifices de ventilations et la surface projetée horizontalement de la couverture ; sauf dans le cas des plaques profilées de fibre-ciment pour lesquelles il s'agit du rapport entre la section totale des orifices de ventilation et la surface développée de la couverture.</div> <div>3. La zone très froide est définie comme la zone où la température de base est $< -15^\circ\text{C}$, (NF P 52-612/CN).</div> <div>Z_{DI} : résistance à la diffusion de la vapeur de l'isolation ; Z_{DP} : résistance à la diffusion de vapeur : isolation sur plancher de combles perdus ou isolation sur plafond suspendus.</div>				
Nota : Lorsque le système d'étanchéité à la vapeur d'eau est nécessaire, il est posé du côté chaud de la paroi.				

5.4.1 Cas de l'isolation en plancher de comble perdu (y compris plafond suspendu) Exemples de calcul pour des configurations usuelles du plancher de comble perdu

Dans les cas d'un comble perdu ventilé sur l'extérieur avec isolant installé :

- sur le plancher du comble perdu ;
- ou sur le plafond suspendu du comble.

Les tableaux ci-après indiquent l'exigence sur les résistances à la diffusion de vapeur d'eau, de l'isolation (Z_{DI}) et, le cas échéant, du plancher du comble perdu ou support de l'isolant/parement (Z_{DP}) en plafond suspendu permettant de limiter le risque de condensation dans la paroi.

Cette exigence porte sur $Z = Z_{DP} + Z_{DI}$ et dépend :

- de la nature de la couverture (1^{ère} colonne)
- de l'hygrométrie des locaux situés sous le comble perdu ventilé sur l'extérieur (2^{ème} colonne).
Si des locaux d'hygrométries différentes sont sous le comble perdu, c'est l'hygrométrie la plus élevée qui doit être considérée.
- De la section des orifices de ventilation, fonction du ratio de ventilation précisé dans les NF DTU couvertures et rappelé dans le tableau ci-dessous.
- De la zone : « hors zone très froide » ou « zone très froide » ⁽³⁾

Lorsque l'exigence sur Z est respectée, la paroi sans système d'étanchéité à la vapeur d'eau ne présente pas de risque de condensation (précisé par un « **NON** » dans la case correspondante des colonnes « système d'étanchéité à la vapeur d'eau requis » pour les isolants de μ inférieur ou égal à 3, hygroscopique ou non)

Nota : La durabilité en œuvre des matériaux entrant dans la conception de la paroi ou du comble doit aussi tenir compte, même en l'absence de condensation, du risque de dégradation de chaque matériau en fonction de l'hygrométrie et de la température. L'exigence ci-dessus n'est donc pas le seul critère à prendre en compte pour s'assurer de la pérennité de l'ouvrage. Il convient de se référer aux règles de l'art de mise en œuvre de la couverture et/ou de l'isolant.

Les tableaux 7, 8 et 9 donnent les exemples de calculs quant à la nécessité ou non d'un système d'étanchéité à la vapeur d'eau pour des configurations usuelles selon la nature du support plancher du comble.

Tableau 7— Isolation sur plancher béton- Exemples de calculs avec un isolant de μ inférieur ou égal 3

Couverture	Hygrométrie	Ratio de ventilation	Hors zone très froide		Zone très froide	
			$Z_{min}^{(3)}$ requise (m ² .h.mmHg/g)	Système d'étanchéité à la vapeur d'eau requis	$Z_{min}^{(3)}$ requise (m ² .h.mmHg/g)	Système d'étanchéité à la vapeur d'eau requis
Couvertures en petits éléments avec ou sans écran de sous-toiture. DTU séries 40.1 ou 40.2	Faible ou moyenne	Selon DTU des séries 40.1 ou 40.2 concerné	$Z_{DP} + Z_{DI} > 3$	NON	$Z_{DP} + Z_{DI} > 16$	NON
Couverture par éléments métalliques en feuilles et longues feuilles : zinc, acier ou cuivre :DTU 40.41, 40.44 ou 40.45	Faible ou moyenne	Selon DTU de la série 40.4 concerné				
Couverture en plaques ondulées en fibres-ciment selon NF DTU 40.37	Faible	$\geq 1/500$				
	Moyenne	$\geq 1/250$				
Couverture en bardeaux bitumés selon DTU 40.14	Faible ou moyenne	$\geq 1/2500$	$Z_{DP} + Z_{DI} > 50$	NON	$Z_{DP} + Z_{DI} > 50$	NON
		$\geq 1/1000$	$Z_{DP} + Z_{DI} > 20$	NON	$Z_{DP} + Z_{DI} > 20$	NON
		$\geq 1/500$	$Z_{DP} + Z_{DI} > 10$	NON	$Z_{DP} + Z_{DI} > 10$	NON

⁽¹⁾ $e_{pmin} = 85$ mm pour isolant hygroscopique ; $e_{pmin} = 165$ mm pour isolant non hygroscopique

⁽²⁾ panneaux de bois type panneaux rainurés bouvetés permettant de constituer un support continu et jointif.

⁽³⁾ Z_{min} : valeur minimale de la résistance à la diffusion de vapeur de la paroi pour laquelle un système d'étanchéité à la vapeur d'eau n'est pas requis.

Z_{DI} : résistance à la diffusion de la vapeur de l'isolation.

Z_{DP} : résistance à la diffusion de vapeur du plancher avant isolation.

Tableau 8 — Isolation sur plancher – Support CTB-H 19 mm avec un isolant de μ inférieur ou égal 3.

Couverture	Hygrométrie	Ratio de ventilation	Hors zone très froide		Zone très froide	
			$Z_{\min}^{(3)}$ requise (m ² .h.mmHg/g)	Système d'étanchéité à la vapeur d'eau requis	$Z_{\min}^{(3)}$ requise (m ² .h.mmHg/g)	Système d'étanchéité à la vapeur d'eau requis
Couvertures en petits éléments avec ou sans écran de sous-toiture. DTU séries 40.1 ou 40.2	Faible ou moyenne	Selon DTU des séries 40.1 ou 40.2 concerné	$Z_{DP}+Z_{DI} > 3$	NON	$Z_{DP}+Z_{DI} > 16$	OUI
Couverture par éléments métalliques en feuilles et longues feuilles : zinc, acier ou cuivre :DTU 40.41, 40.44 ou 40.45	Faible ou moyenne	Selon DTU de la série 40.4 concerné				
Couverture en plaques ondulées en fibres-ciment selon NF DTU 40.37	Faible	$\geq 1/500$				
	Moyenne	$\geq 1/250$				
Couverture en bardeaux bitumés selon DTU 40.14	Faible ou moyenne	$\geq 1/2500$	$Z_{DP}+Z_{DI} > 50$	OUI	$Z_{DP}+Z_{DI} > 50$	OUI
		$\geq 1/1000$	$Z_{DP}+Z_{DI} > 20$	OUI	$Z_{DP}+Z_{DI} > 20$	OUI
		$\geq 1/500$	$Z_{DP}+Z_{DI} > 10$	NON si $ep_{\text{installée}} > ep_{\min}^{(1)}$	$Z_{DP}+Z_{DI} > 10$	OUI

(1) $ep_{\min} = 110$ mm pour isolant hygroscopique ; $ep_{\min} = 210$ mm pour isolant non hygroscopique

(2) panneaux de bois type panneaux rainurés bouvetés permettant de constituer un support continu et jointif.

(3) Z_{\min} : valeur minimale de la résistance à la diffusion de vapeur de la paroi pour laquelle un système d'étanchéité à la vapeur d'eau n'est pas requis.
 Z_{DI} : résistance à la diffusion de la vapeur de l'isolation.
 Z_{DP} : résistance à la diffusion de vapeur du plancher avant isolation.

Tableau 9 — Isolation sur plancher – Support plaque de plâtre BA13 avec un isolant de μ inférieur ou égal 3.

Couverture	Hygrométrie	Ratio de ventilation	Hors zone très froide		Zone très froide	
			$Z_{\min}^{(3)}$ requise (m ² .h.mmHg/g)	Système d'étanchéité à la vapeur d'eau requis	$Z_{\min}^{(3)}$ requise (m ² .h.mmHg/g)	Système d'étanchéité à la vapeur d'eau requis
Couvertures en petits éléments avec ou sans écran de sous-toiture. DTU séries 40.1 ou 40.2	Faible ou moyenne	Selon DTU des séries 40.1 ou 40.2 concerné	$Z_{DP}+Z_{DI} > 3$	NON si $ep_{\text{installée}} > ep_{\min}^{(1)}$	$Z_{DP}+Z_{DI} > 16$	OUI
Couverture par éléments métalliques en feuilles et longues feuilles : zinc, acier ou cuivre :DTU 40.41, 40.44 ou 40.45	Faible ou moyenne	Selon DTU de la série 40.4 concerné				
Couverture en plaques ondulées en fibres-ciment selon NF DTU 40.37	Faible	$\geq 1/500$				
	Moyenne	$\geq 1/250$				
Couverture en bardeaux bitumés selon DTU 40.14	Faible ou moyenne	$\geq 1/2500$	$Z_{DP}+Z_{DI} > 50$	OUI	$Z_{DP}+Z_{DI} > 50$	OUI
		$\geq 1/1000$	$Z_{DP}+Z_{DI} > 20$	OUI	$Z_{DP}+Z_{DI} > 20$	OUI
		$\geq 1/500$	$Z_{DP}+Z_{DI} > 10$	OUI	$Z_{DP}+Z_{DI} > 10$	OUI

(1) $ep_{\min} = 85$ mm pour isolant hygroscopique ; $ep_{\min} = 165$ mm pour isolant non hygroscopique

(2) panneaux de bois type panneaux rainurés bouvetés permettant de constituer un support continu et jointif.

(3) Z_{\min} : valeur minimale de la résistance à la diffusion de vapeur de la paroi pour laquelle un système d'étanchéité à la vapeur d'eau n'est pas requis.
 Z_{DI} : résistance à la diffusion de la vapeur de l'isolation.
 Z_{DP} : résistance à la diffusion de vapeur du plancher avant isolation.

Nota : Pour les isolants dont le facteur μ est plus élevé, la nécessité de mettre en œuvre un système d'étanchéité à la vapeur d'eau sera déterminée selon le § 5.4

5.4.2 Comble perdu ventilé - Isolant recouvert partiellement par un chemin de circulation

Le chemin de circulation a vocation à servir d'accès uniquement pour l'entretien des équipements techniques. Le chemin de circulation est limité au passage d'une seule personne, et couvre un entraxe de solives. Dans ce cas, les dispositions du §5.4 s'appliquent. Au-delà, les règles du §5.4.3 s'appliquent.

Le chemin de circulation doit être réalisé en laissant une circulation de l'air en sous-face de celui-ci.

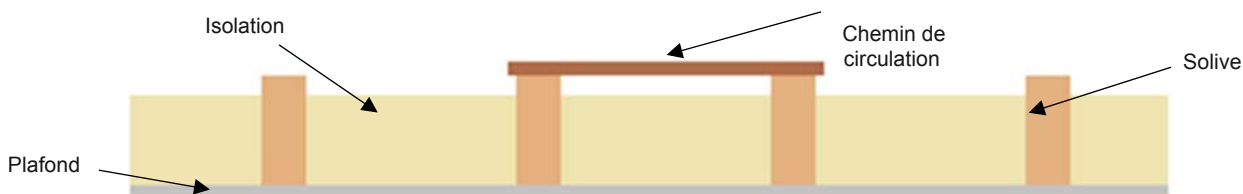


Figure 2 : Isolant recouvert d'un chemin de circulation

5.4.3 Comble perdu ventilé - Isolant recouvert d'une surface de répartition

5.4.3.1 Exigences relatives à un système d'étanchéité à la vapeur d'eau sous la surface de répartition

La nature et l'épaisseur de la surface de répartition est conforme à la norme NF DTU 51.3 P1-2 et sa pose conforme P1-1.

Par convention, les calculs sont effectués en prenant en compte le plancher support (revêtement, plafond, béton, système d'étanchéité à la vapeur d'eau ...) l'isolant et la surface de répartition, sans tenir compte des pièces de charpentes. Le système d'étanchéité à la vapeur d'eau, si nécessaire, est positionné sous l'isolant, coté local chauffé.

Les exigences relatives à la présence ou non d'un système d'étanchéité à la vapeur d'eau sont données ci-dessous :

Tableau 10 — Exigences relatives à un système d'étanchéité à la vapeur d'eau – Comble non aménagé – Isolation sur plancher – Surface de répartition

Hygrométrie des locaux	Règle
Faible ou moyenne	$Z_{DP} + Z_{DI} > 3 Z_{DS}$

Où :
 Z_{DP} : résistance à la diffusion de la vapeur d'eau du plancher avant isolation
 Z_{DI} : résistance à la diffusion de la vapeur d'eau de l'isolation
 Z_{DS} : résistance à la diffusion de la vapeur de la surface de répartition.

5.4.3.2 Exemples de calculs pour des configurations usuelles du plafond

Les tableaux 12, 13 et 14 donnent les exemples de calculs quant à la nécessité ou non d'un système d'étanchéité à la vapeur d'eau, pour des configurations usuelles du support pour une surface de répartition bois ou à base de bois et pour des isolants dont le μ est égal à 3.

Pour les supports béton plein

Tableau 12 : Exemples de calculs – Comble non aménagé – Isolation sur plancher – Surface de répartition – Support béton plein

Hygrométrie des locaux	Nécessité d'un système d'étanchéité à la vapeur d'eau
Faible ou moyenne	Non (*)
(*) D'autres spécifications peuvent être précisées dans les NF DTU ou documents spécifiques	

Pour les supports en plaque de plâtre

Tableau 13 : Exemples de calculs – Comble non aménagé – Isolation sur plancher – Surface de répartition CTB-H 19 mm – Support CTB-H 19 mm

Hygrométrie des locaux	Nécessité d'un système d'étanchéité à la vapeur d'eau
Faible ou moyenne	Oui

Nota : Pour les isolants dont le facteur μ est plus élevé, la nécessité de mettre en œuvre un système d'étanchéité à la vapeur d'eau sera déterminée selon le § 4.2 nota à faire sortir

Pour les supports en plaque de plâtre

$$Z_{DP} + Z_{DI} = 6,50 \cdot 10^8 + 1,75 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa} / \text{kg} \text{ (ou } 1,35 + 3,67 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg} / \text{g})$$

$$Z_{DS} = 2,40 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa} / \text{kg} \text{ (ou } 5,02 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg} / \text{g})$$

$$Z_{DP} + Z_{DI} < 3 Z_{DS}$$

Tableau 14 : Exemples de calculs – Comble non aménagé – Isolation sur plancher – Surface de répartition – Support plaque de plâtre

Hygrométrie des locaux	Nécessité d'un système d'étanchéité à la vapeur d'eau
Faible ou moyenne	Oui

Nota : Pour les isolants dont le facteur μ est plus élevé, la nécessité de mettre en œuvre un système d'étanchéité à la vapeur sera déterminée selon le § 4.2.

5.4.4 Isolation en sous-face de plancher de combles perdus

5.4.4.1 Ventilation du comble perdu

Dans cette configuration, l'isolation n'est pas en contact avec l'air du comble perdu.

Les schémas ci-dessous, issus de la norme NF DTU 40.21, montrent les principes de ventilation du comble perdu avec ou sans écran de sous-toiture (quel que soit le type de d'écran).

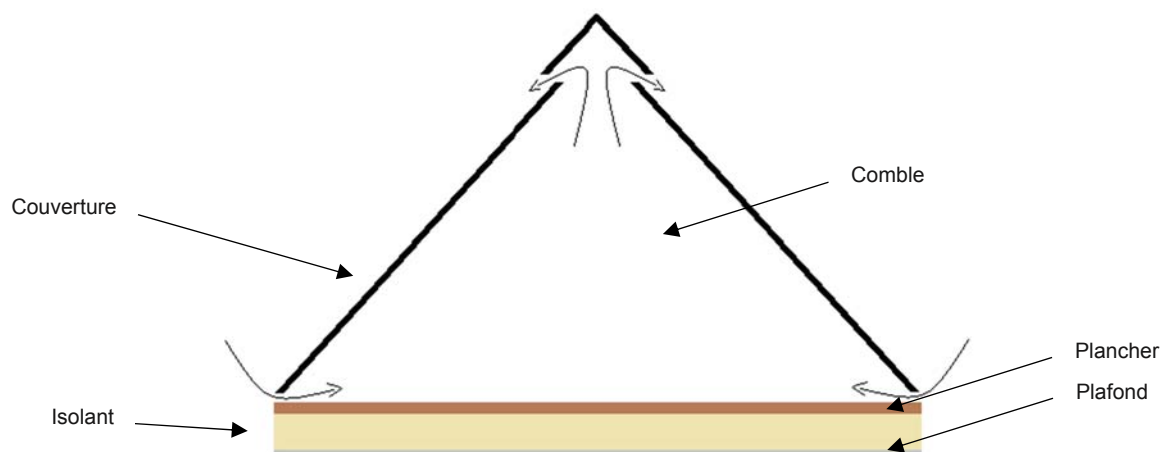


Figure 3 : Ventilation du comble perdu – isolation sous plancher

Le comble perdu est toujours ventilé.

5.4.4.2 Exigences relatives à un système d'étanchéité à la vapeur d'eau

Les exigences relatives à la présence ou non d'un système d'étanchéité à la vapeur sont données ci-dessous :

Hygrométrie des locaux	Règle
Faible et moyenne	$Z_{DPF} + Z_{DI} > 3 Z_{DP}$

où

Z_{DPF} : résistance à la diffusion de vapeur d'eau du plafond ;

Z_{DI} : résistance à la diffusion de vapeur d'eau de l'isolation ;

Z_{DP} : résistance à la diffusion de vapeur d'eau du plancher seul.

Ces valeurs sont exprimées en $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg} / \text{g}$.

Ces exigences ne s'appliquent pas pour les chemins de circulation ventilés en sous-face. Auquel cas, les dispositions du § 5.4 s'appliquent.

Tableau 15 : Exigences relatives à un système d'étanchéité à la vapeur d'eau – Comble non aménagé – Isolation sous plancher

Le système d'étanchéité à la vapeur d'eau, quand il est nécessaire, est positionné sous l'isolant, coté local chauffé.

5.4.4.3 Exemples de calculs pour des configurations usuelles du plafond

Si les natures et les épaisseurs du plancher du comble et du revêtement plafond sous l'isolant sont strictement identiques, il n'y a pas nécessité d'un système d'étanchéité à la vapeur d'eau pour les locaux à faible hygrométrie.

Les tableaux 16 et 17 donnent les exemples de calculs quant à la nécessité ou non d'un système d'étanchéité à la vapeur d'eau pour des configurations usuelles du plancher pour un isolant dont le μ est égal à 3.

Pour les planchers de comble en béton plein, quelles que soient la nature du revêtement plafond sous l'isolant et son épaisseur.

Hygrométrie des locaux	Nécessité d'un système d'étanchéité à la vapeur d'eau
Faible ou moyenne	Oui

Nota : Pour les isolants dont le facteur μ est plus élevé, la nécessité de mettre en œuvre un système d'étanchéité à la vapeur d'eau sera déterminée selon le § 5.3.2.

Tableau 16 : Exemples de calculs – Comble non aménagé – Isolation sous plancher béton plein

Pour les planchers de combles en CTBH-19 mm, pour un revêtement plafond de type plaque de plâtre

Hygrométrie des locaux	Nécessité d'un système d'étanchéité à la vapeur d'eau
Faible ou moyenne	Oui

Nota : Pour les isolants dont le facteur μ est plus élevé, la nécessité de mettre en œuvre un système d'étanchéité à la vapeur d'eau sera déterminée selon le § 5.3.2.

Tableau 17 : Exemples de calculs – Comble non aménagé – Isolation sous plancher – Support CTB-H 19 mm et revêtement plafond en plaque de plâtre

6 Exigences relatives aux systèmes d'étanchéité à la vapeur d'eau : cas de rampants

Cas de l'isolation des toitures de combles aménagés avec isolant installé en rampants, faux combles et pieds droits.

Les tableaux 18 et 19 ci-après indiquent l'exigence sur les résistances à la diffusion de vapeur d'eau de l'isolation (Z_{DI}) et du parement intérieur (Z_{DP}) pour limiter le risque de condensation dans la paroi dans le cas d'un :

- isolant non hygroscopique de μ inférieur ou égal à 3 (Tableau 15) ;

Cette exigence porte sur $Z = Z_{DP} + Z_{DI}$ et dépend :

- de la nature de la couverture (1^{ère} colonne)
- de l'hygrométrie des locaux situés sous le comble.
- Si des locaux d'hygrométries différentes sont sous le comble perdu, c'est l'hydrométrie la plus élevée qui doit être considérée.
- de la section des orifices de ventilation, fonction du ratio de ventilation précisé dans les NF DTU couvertures et rappelé dans le tableau ci-dessous.
- de la zone : « hors zone très froide » ou « zone très froide » ⁽³⁾

Lorsque l'exigence sur Z est respectée, la paroi sans système d'étanchéité à la vapeur d'eau ne présente pas de risque de condensation (précisé par un « **NON** » dans la case correspondante des colonnes « système d'étanchéité à la vapeur d'eau requis » pour les isolants de μ inférieur ou égal à 3, hygroscopique ou non)

Nota : La durabilité en œuvre des matériaux entrant dans la conception de la paroi ou du comble doit aussi tenir compte, même en l'absence de condensation, du risque de dégradation de chaque matériau en fonction de l'hygrométrie et de la température. L'exigence ci-dessus n'est donc pas le seul critère à prendre en compte pour s'assurer de la pérennité de l'ouvrage. Il convient de se référer aux règles de l'art de mise en œuvre de la couverture et/ou de l'isolant.

Tableau 18 — Isolations des toitures de combles aménagés avec isolant installé en rampants, faux comble et pied droit : en faible ou moyenne hygrométrie - Cas d'un isolant de μ inférieur ou égal 3.

Couverture	Présence ou non d'un écran ?	Ratio de ventilation ⁽¹⁾	Hors zone très froide ⁽²⁾		Zone très froide ⁽²⁾	
			Valeur minimale Z de la paroi pour laquelle Système d'étanchéité à la vapeur d'eau n'est pas requis ($m^2 \cdot h \cdot mmHg/g$)	Système d'étanchéité à la vapeur d'eau requis	Valeur minimale Z de la paroi pour laquelle Système d'étanchéité à la vapeur d'eau n'est pas requis ($m^2 \cdot h \cdot mmHg/g$)	Système d'étanchéité à la vapeur d'eau requis
Petits éléments avec ou sans écran de sous-toiture	Ecran HPV en contact avec l'isolant	Selon DTU des séries 40.1 ou 40.2 concerné	$Z_{DP} + Z_{DI} > 3$	OUI*	$Z_{DP} + Z_{DI} > 16$	OUI**
	Sans écran	Selon DTU des séries 40.1 ou 40.2 concerné	$Z_{DP} + Z_{DI} > 3$	OUI* : en neuf ou réfection totale. Facultatif : en rénovation partielle pour des sections de ventilation maximales demandées par le DTU couverture : Exemple $\geq 1/250$.	$Z_{DP} + Z_{DI} > 16$	OUI**
	Nature de l'écran inconnu ou avec écran ventilé en sous face	Selon DTU des séries 40.1 ou 40.2 concerné	$Z_{DP} + Z_{DI} > 3$	OUI* : en neuf ou réfection totale. Facultatif : en rénovation partielle pour des sections de ventilation maximales demandées par le DTU couverture : Exemple $\geq 1/250$.	$Z_{DP} + Z_{DI} > 16$	OUI**
Feuilles métalliques supportées	Non concerné	Selon DTU de la série 40.4 concerné	$Z_{DP} + Z_{DI} > 3$	Facultatif	$Z_{DP} + Z_{DI} > 16$	OUI**
Plaques profilées de fibres ciment	Non concerné	$\geq 1/500$	$Z_{DP} + Z_{DI} > 3$	Facultatif	$Z_{DP} + Z_{DI} > 16$	OUI**
		$\geq 1/250$	$Z_{DP} + Z_{DI} > 3$	Facultatif	$Z_{DP} + Z_{DI} > 16$	OUI**
Bardeaux bitumés	Non concerné	$\geq 1/2500$	$Z_{DP} + Z_{DI} > 50$	OUI*	$Z_{DP} + Z_{DI} > 50$	OUI**
		$\geq 1/1000$	$Z_{DP} + Z_{DI} > 20$	OUI*	$Z_{DP} + Z_{DI} > 20$	OUI**
		$\geq 1/500$	$Z_{DP} + Z_{DI} > 10$	OUI*	$Z_{DP} + Z_{DI} > 10$	OUI**

1. Le ratio de ventilation est le rapport entre la section totale des orifices de ventilations et la surface projetée horizontalement de la couverture ; sauf dans le cas des plaques profilées de fibre-ciment pour lesquelles il s'agit du rapport entre la section totale des orifices de ventilation et la surface développée de la couverture.

2. La zone très froide est définie comme la zone où la température de base est $< -15^\circ C$, (NF P 52-612/CN).

Z_{DI} : résistance à la diffusion de la vapeur de l'isolation ;

Z_{DP} : résistance à la diffusion de vapeur du parement intérieur.

⁽¹⁾ $S_d \geq 18 m^2$; ^(**) $S_d \geq 57 m^2$

7 Annexe : exemples d'application pour isolation sur plancher de comble perdu

7.1 Exemple 1 : Pose sans système d'étanchéité à la vapeur d'eau (hors zone très froide)

Pose avec de la laine minérale soufflée sur plafond :

- couverture en plaques profilées de fibres-ciment selon NF DTU 40.37 ;
- local en sous-face à moyenne hygrométrie (habitation) ;
- isolant en vrac d'épaisseur 350 mm (avec $\mu = 1$);
- plafond à base de plaque de plâtre cartonnée 13 mm (avec $\mu = 10$) vissée sur fourrures métalliques.

La résistance à la diffusion de vapeur d'eau du plancher avant isolation Z_{DP} (plancher) vaut :

La résistance à la diffusion de la vapeur d'eau $Z_{DP} + Z_{DI}$ (isolant + plafond en plaque de plâtre) vaut selon §4.2:

$$Z_{DP} + Z_{DI} = 1,75 \cdot 10^9 + 6,50 \cdot 10^8 = 2,40 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/kg}$$

Exemple d'exigence pour une configuration selon §5.4 : la valeur **minimale** de $Z_{DP} + Z_{DI}$ pour laquelle un système d'étanchéité à la vapeur d'eau n'est pas requis en hors zone très froide est égale à **1,44.10⁹ m².s.Pa/kg**.

$$Z_{DP} + Z_{DI} = 2,40 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/kg} > \mathbf{1,44 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/kg}} \text{ (ou } 3 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg/g})$$

L'exigence est donc respectée pour cette configuration et la pose d'un système d'étanchéité à la vapeur d'eau n'est donc pas nécessaire selon le seul critère du risque de condensation.

7.2 Exemple 2 : Pose avec système d'étanchéité à la vapeur d'eau (hors zone très froide)

Pose avec de la laine minérale soufflée sur plafond :

- couverture en petits éléments selon DTU des séries 40.2 concerné avec ratio de ventilation $\geq 1/2500$;
- local en sous-face à moyenne hygrométrie (habitation) ;
- isolant en vrac d'épaisseur 350 mm (avec $\mu = 1$);
- plafond à base de plaque de plâtre cartonnée 13 mm (avec $\mu = 10$) vissée sur fourrures métalliques.

La résistance à la diffusion de la vapeur d'eau $Z_{DP} + Z_{DI}$ (isolant + plafond en plaque de plâtre) vaut selon §4.2 :

$$Z_{DP} + Z_{DI} = 1,75 \cdot 10^9 + 6,50 \cdot 10^8 = 2,40 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/kg} = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg/g}$$

Exemple d'exigence pour une configuration selon Tableau 9 : la valeur **minimale** de $Z_{DP} + Z_{DI}$ pour laquelle un système d'étanchéité à la vapeur d'eau n'est pas requis en hors zone très froide est égale à **3 m².h.mmHg/g**

$$Z_{DP} + Z_{DI} = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg/g} > \mathbf{3 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg/g}}$$

La pose d'un système d'étanchéité à la vapeur d'eau n'est donc pas nécessaire.

7.3 Exemple 3 : Pose sans système d'étanchéité à la vapeur d'eau (hors zone très froide)

Pose avec de la laine minérale soufflée sur plafond :

- couverture en petits éléments selon DTU des séries 40.1 ou 40.2 concerné (hors bardeaux bitumés selon DTU 40.14) avec ratio de ventilation $\geq 1/250$;
- local en sous-face à moyenne hygrométrie (habitation) ;
- isolant d'épaisseur 300 mm (avec $\mu = 50$);
- plafond à base de plaque de plâtre cartonnée 13 mm (avec $\mu = 10$) vissée sur fourrures métalliques.

La résistance à la diffusion de la vapeur d'eau $Z_{DP} + Z_{DI}$ (isolant + plafond en plaque de plâtre) vaut selon §4.2 :

$$Z_{DP} + Z_{DI} = 75 \cdot 10^9 + 6,50 \cdot 10^8 = 75,65 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/kg}$$

$$> \mathbf{4,8 \cdot 10^9 \text{ m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa/kg}} \text{ (ou } 10 \text{ m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg/g}) \text{ (valeur du tableau en 5.4)}$$

La pose d'un système d'étanchéité à la vapeur d'eau n'est donc pas nécessaire selon le seul critère du risque de condensation.

7.4 Exemple 4 : Pose d'un système d'étanchéité à la vapeur d'eau (hors zone très froide)

Pose avec de la laine minérale soufflée sur plafond :

- couverture en plaques profilées de fibres-ciment selon NF DTU 40.37 ;
- surface de répartition de panneaux CTB-OSB de 12 mm (avec $\mu = 50$) ;
- local en sous-face à moyenne hygrométrie (habitation) ;
- isolant en vrac d'épaisseur 300 mm (avec $\mu = 1$) ;
- plafond à base de plaque de plâtre cartonnée 13 mm (avec $\mu = 10$) vissée sur fourrures métalliques.

La résistance à la diffusion de vapeur d'eau du plancher avant isolation Z_{DP} vaut :

$$Z_{DP}(\text{plancher}) = \frac{\mu * d}{\delta_{air}} = \frac{10 * 0,013}{2,00.10^{-10}} = 6,50.10^8 \text{ m}^2.s.Pa/kg \text{ (ou } 1,35 \text{ m}^2.h.mmHg/g)$$

La résistance à la diffusion de la vapeur de l'isolation Z_{DI} vaut :

$$Z_{DI}(\text{isolant}) = \frac{\mu * d}{\delta_{air}} = \frac{1 * 0,30}{2,00.10^{-10}} = 1,50.10^9 \text{ m}^2.s.Pa/kg \text{ (ou } 3,13 \text{ m}^2.h.mmHg/g)$$

$$Z_{DP} + Z_{DI} = 2,15.10^9 \text{ m}^2.s.Pa/kg \text{ (ou } 4,48 \text{ m}^2.h.mmHg/g)$$

L'exigences relatives à la présence ou non d'un système d'étanchéité à la vapeur d'eau est donnée ci-dessous (formule §5.4.4.1)

$$Z_{DP} + Z_{DI} < 3 * Z_{DS}$$

La résistance à la diffusion de la surface de répartition Z_{DS} correspond à l'état humide du matériau et vaut :

$$3 * Z_{DS} = 3 * \frac{50 * 0,012}{2,00.10^{-10}} = 9,0010^9 \text{ m}^2.s.Pa/kg \text{ (ou } 18,75 \text{ m}^2.h.mmHg/g) > Z_{DP} + Z_{DI}$$

L'exigence n'est pas satisfaite, un système d'étanchéité à la vapeur d'eau est nécessaire.

La résistance minimale à la diffusion du système d'étanchéité à la vapeur d'eau Z_{DPV} vaut :

$$Z_{DPV} = 3 * Z_{DS} - Z_{DP} - Z_{DI} = 9,00.10^9 - 2,15.10^9 = 6,85.10^9 \text{ m}^2.s.Pa/kg$$

La valeur minimale d'épaisseur de couche d'air équivalente de diffusion à la vapeur d'eau d'un système d'étanchéité à la vapeur d'eau S_{dPV} vaut :

$$S_{dPV} = Z_{DPV} * \delta_{air} = 6,85.10^9 * 2,00.10^{-10} = 1,37 \text{ m}$$

8 Annexe : valeurs par défaut

Les valeurs par défauts de différentes matières les plus couramment utilisées dans les bâtiments sont données dans les tableaux suivants. Ces valeurs sont issues des Règles Th-bât.

8.1 Panneaux bois

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C _p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Feuillus très lourds : $\rho_n > 1\,000 \text{ kg/m}^3$	$\rho > 870$	1 600	200	50
Feuillus lourds $865 < \rho_n \leq 1\,000 \text{ kg/m}^3$	$750 < \rho \leq 870$	1 600	200	50
Feuillus mi-lourds $650 < \rho_n \leq 865 \text{ kg/m}^3$	$565 < \rho \leq 750$	1 600	200	50
Feuillus légers : $500 < \rho_n \leq 650 \text{ kg/m}^3$	$435 < \rho \leq 565$	1 600	200	50
Feuillus très légers : $230 < \rho_n \leq 500 \text{ kg/m}^3$ hors balsa	$200 < \rho \leq 435$	1 600	50	20
Balsa $\rho_n \leq 230 \text{ kg/m}^3$	$\rho \leq 200$	1 600	50	20
Résineux très lourds $\rho_n > 700 \text{ kg/m}^3$	$\rho > 610$	1 600	50	20
Résineux lourds $600 < \rho \leq 700 \text{ kg/m}^3$	$520 < \rho \leq 610$	1 600	50	20
Résineux mi-lourds $500 < \rho \leq 600 \text{ kg/m}^3$	$435 < \rho \leq 520$	1 600	50	20
Résineux légers $\rho \leq 500 \text{ kg/m}^3$	$\rho \leq 435$	1 600	50	20

8.2 Panneaux à base de bois

Définis conformément à la norme PR NF EN 13986 (octobre 2000).

8.2.1 Panneaux contreplaqués

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C _p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Panneaux contreplaqués selon les normes NF EN 313 -1 et NF EN 313 -2 et bois panneautés définis selon la norme NF EN 12775	$750 < \rho \leq 900$	1 600	250	110
	$600 < \rho \leq 750$	1 600	250	110
	$500 < \rho \leq 600$	1 600	220	90
	$450 < \rho \leq 500$	1 600	200	70
	$350 < \rho \leq 450$	1 600	200	70
	$250 < \rho \leq 350$	1 600	200	50
	$\rho \leq 250$	1 600	200	50

8.2.2 Panneaux à lamelles longues et orientées (OSB)

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C _p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Panneaux à lamelles selon la norme NF EN 300	$\rho \leq 650$	1 700	50	30

8.2.3 Panneaux de particules liées au ciment

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C _p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Panneaux de particules selon les normes NF EN 634-1 et NF EN 634-2.	$\rho \leq 1\,200$	1 500	50	30

8.2.4 Panneaux de particules

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C _p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Panneaux de particules selon la norme NF EN 309	$640 < \rho \leq 820$	1 700	50	20
	$450 < \rho \leq 640$	1 700	50	20
	$270 < \rho \leq 450$	1 700	50	20
	$180 < \rho \leq 270$	1 700	50	20

8.3 Matériaux isolants manufacturés

8.3.1 Laines minérales

8.3.1.1 Laine de roche

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C _p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Laine de roche selon NF EN 16162 (MW)	15 ≤ ρ < 25	1 030	1	1
	25 ≤ ρ < 40	1 030	1	1
	40 ≤ ρ < 100	1 030	1	1
	100 ≤ ρ < 125	1 030	1	1
	125 ≤ ρ < 150	1 030	1	1
	150 ≤ ρ < 175	1 030	1	1
	175 ≤ ρ < 200	1 030	1	1

8.3.1.2 Laine de verre

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C _p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Laine de verre selon NF EN 16162 (MW)	7 ≤ ρ < 10	1 030	1	1
	10 ≤ ρ < 15	1 030	1	1
	15 ≤ ρ < 20	1 030	1	1
	20 ≤ ρ < 30	1 030	1	1
	30 ≤ ρ < 40	1 030	1	1
	40 ≤ ρ < 80	1 030	1	1
	80 ≤ ρ < 120	1 030	1	1
	120 ≤ ρ < 150	1 030	1	1

8.3.1.3 Laines minérales en vrac (masses volumiques à l'application)

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C _p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Laines obtenues par soufflage sur plancher de comble	10 ≤ ρ < 25	1 030	1	1
Laines obtenues par épandage manuel sur plancher de comble	10 ≤ ρ < 60	1 030	1	1
Laines obtenues par insufflation en mur, en rampant, etc.	20 ≤ ρ < 80	1 000	1	1

8.3.1.4 Laine de laitier ou de roche ou hydraulique appliquées

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C _p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Laine minérale selon DTU 27.1	140 ≤ ρ < 200	1 200	2	2
	200 ≤ ρ < 300	1 200	2	2
	300 ≤ ρ < 500	1 200	2	2

8.3.2 Liège

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C _p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Expansé pur conforme à la norme NF EN 13170 (ICB)	100 ≤ ρ < 150	1560	10	5
Expansé aggloméré au brai ou aux résines synthétiques	150 ≤ ρ < 250	1560	10	5
Défini conformément à la norme NF B 57-000	250 ≤ ρ < 500	1560	10	15
Revêtement de sol sous couche	ρ < 200	1500	20	10
Revêtement plaque	400 ≤ ρ	1500	40	20

8.3.3 Matières plastiques alvéolaires

8.3.3.1 Polystyrène expansé

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Plaques découpées dans des blocs moulés et conformes à la norme NF EN 13163 (EPS)	$7 \leq \rho < 10$	1 450	60	60
	$10 \leq \rho < 13$	1 450	60	60
	$13 \leq \rho < 15$	1 450	60	60
Plaques moulées en continu et conformes à la norme NF EN 13163 (EPS)	$15 \leq \rho < 19$	1 450	60	60
	$19 \leq \rho < 24$	1 450	60	60
Autres plaques moulées à partir de billes	$24 \leq \rho < 29$	1 450	60	60
	$29 \leq \rho < 40$	1 450	60	60
	$40 \leq \rho < 60$	1 450	60	60

8.3.3.2 Polystyrène extrudé (XPS)

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Panneau ou plaque XPS selon NF EN 13164 (XPS)	$20 \leq \rho \leq 60$	1 450	150	150

8.3.3.3 Mousse de polyuréthane ou de polyisocyanate

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Panneau ou plaque selon NF EN 13165 (PUR)	$15 \leq \rho \leq 60$	1 400	60	60
Mousse rigide formé en place (projetée) (PUR ou PIR) selon NF EN 14315-1	$5 \leq \rho \leq 60$	1 400	60	60

8.3.4 Plaques à base de perlite expansée

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Panneau ou plaque selon NF EN 13165 (EPB)	$150 \leq \rho \leq 280$	900	5	5
Produit formé en place selon NF EN 14316 (EP)	$150 \leq \rho \leq 280$	900	5	5

8.3.5 Plaques de verre cellulaire

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Produits manufacturés en verre cellulaire selon NF EN 13167 (CG)	$20 \leq \rho \leq 60$	1 000	∞	∞

8.3.6 Produits manufacturés à base de fibres végétales ou animales

8.3.6.1 Cellulose à base de papiers broyés

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Produits en vrac à base de papiers broyés selon NF EN 15101 (Vrac)	$20 \leq \rho \leq 70$	2000	2	2

8.3.6.2 Chanvre et lin

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Produits en vrac ou en panneau rouleau	$20 \leq \rho \leq 70$	1600	1	1

8.3.6.3 Coton

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Produits en vrac ou en panneau rouleau	$20 \leq \rho \leq 70$	1600	1	1

8.3.6.4 Paille de blé comprimée

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Paille de blé comprimée	$300 \leq \rho \leq 400$	1400	1	1

8.3.6.5 Laine de mouton

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Produits en vrac ou en panneau rouleau	$20 \leq \rho \leq 70$	1600	1	1

8.4 Béton

8.4.1 Béton plein

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Béton plein	$2000 \leq \rho \leq 2300$	1000	120	70
	$2300 \leq \rho \leq 2600$	1000	130	80

8.4.2 Béton caverneux

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Béton caverneux	$1600 \leq \rho \leq 2000$	1000	100	60

8.4.3 Bétons de granulats légers

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Bétons de granulats légers	$1000 \leq \rho \leq 1600$	1000	30	20

8.4.4 Béton de ponce naturelle

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Béton de ponce naturelle	$1000 \leq \rho \leq 1600$	1000	50	40

8.6 Plâtres

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
<ul style="list-style-type: none"> - Plâtre « gâché serré » ou « très serré » (plâtre de très haute dureté (THD), plâtre projeté et plâtre fin) - Plâtre courant d'enduit intérieur (plâtre fin de construction (PFC) ou plâtre gros de construction (PGC)) - Enduit intérieur à base de plâtre et de sable - Plaques de plâtres à parement de carton « standard » et « haute dureté » ou éléments préfabriqués en plâtre à parements lisses - Plaques de plâtre à parement de carton « spéciales feu » et plaques de plâtre armées de fibres minérales - Plâtre d'enduit avec perlite tout-venant ou vermiculite grade 2 (de 1 à 2 mm) : 1 volume pour un volume de plâtre et 2 volumes pour un volume de plâtre 	$500 \leq \rho \leq 1500$	1000	10	4 à 6

8.7 Terre cuite

Matériaux ou application	(ρ) en kg/m ³	(C_p) en J/(kg.K)	(μ)	
			Sec	Humide
Terre cuite utilisée dans les éléments de maçonnerie.	$500 \leq \rho \leq 2400$	1000	16	10

SIÈGE SOCIAL

84, AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2
TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX (33) 01 60 05 70 37 | www.cstb.fr

CSTB
le futur en construction

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT | MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA ANTIPOLIS