

# La toiture plate

révision de la NIT 215



n° 280

2022

Note d'information  
technique

Après plus d'un demi-siècle d'existence, le Centre scientifique et technique de la construction fait désormais place à Buildwise.

Ce nouveau nom porte en lui une orientation nouvelle, davantage axée sur l'innovation, sur la collaboration et sur une approche pluridisciplinaire plus intégrée.

## Pourquoi cette transformation?

### **Votre centre de recherche devient centre d'innovation**

Fort des connaissances qu'il a acquises au fil des années, Buildwise s'est imposé comme le centre de référence et d'expertise du secteur de la construction. Buildwise se tient aux côtés de tous les acteurs impliqués dans l'acte de bâtir. Notre objectif ? Transmettre des connaissances qui améliorent réellement la qualité, la productivité et la durabilité, et ouvrir la voie à l'innovation sur chantier et dans l'entreprise.

### **Dynamiser le partage des connaissances et les interconnexions**

Compte tenu de la grande complexité et de la forte fragmentation du processus de construction, Buildwise se doit de renforcer son rôle fédérateur. Nous ne pourrions relever les défis sectoriels et sociétaux qu'en mobilisant le secteur tout entier et en repensant nos modèles d'entreprise et notre façon de collaborer.

### **De la multidisciplinarité à la transdisciplinarité**

Notre spécificité tient à notre approche pragmatique et multidisciplinaire. Pour trouver des solutions solides, il faut une stratégie globale et intégrée. C'est pourquoi nos ambitions s'articulent autour de trois piliers : les technologies numériques, la durabilité et le métier (représenté par les entrepreneurs au sein des Comités techniques).



## Une stratégie ambitieuse pour l'avenir

Buildwise a pour mission d'aider les professionnels de la construction à améliorer la qualité, la productivité et la durabilité et d'ouvrir la voie à l'innovation sur les chantiers et dans les entreprises de construction. Pour ce faire, nous recourons à une approche globale et intégrée et prenons en compte les besoins de tous les corps de métier.

**Plus d'informations sur [buildwise.be](https://www.buildwise.be)**



# NOTE D'INFORMATION TECHNIQUE

N° 280

UNE ÉDITION DU CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION

Avril 2022



## La toiture plate (révision de la NIT 215)





# NOTE D'INFORMATION TECHNIQUE

N° 280

## La toiture plate (révision de la NIT 215)

La présente Note d'information technique a été élaborée par le groupe de travail 'Révision de la NIT 215', sous l'égide du Comité technique Étanchéité, dont la présidence est assurée par R. Evens.

### Composition du groupe de travail

#### Membres

S. Baelen, P. Bailleul, H.-Ch. Boulanger, M. Buvé, J. Coumans, C. Coussens, F. Dejonghe, R. Jochems, M. Kersschot, P. Kerstenne, J. Klok, J.-Fr. Labrouche, B. Marynissen (†), Fr. Michiels, H. Michot, J. Moens, Th. Monbaillieu, R. Naert, L. Neirinckx, T. Overlaet, G. Peeterbroeck, S. Roelants, E. Schomus, S. Terryn, G. Timmermans (†), A. Ulens (†), P. Van Acker, L. Van Audenhaeghe, D. Van der Sype, D. Van Kerckhove, P. Van Rysseghem, J. Van Zele, Br. Verbeke, M. Wagneur, Kr. Wienen, J. Wulleman et M. Zwijsen

**Ingénieur-rapporteur** E. Noirfalisce, CSTC

#### Ont également contribué à l'élaboration du document :

E. Mahieu, coanimateur du Comité technique 'Étanchéité'  
T. de Mets, E. Douguet, L. Lassoie, Y. Martin, A. Tilmans, L. Wastiels et E. Winnepenninckx, CSTC  
Chr. Bisschops, G. Curtenat, A. De Keersmaecker, B. De Keyser, P. Eyckens, D. Leus, K. Mangelschot, J.-P. Meuleman, K. Michielsen, J. Ooms, D. Van Genechten, P. Verbrugghe et G. Verschueren



#### CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION

CSTC, établissement reconnu en application de l'arrêté-loi du 30 janvier 1947  
Siège social : Rue du Lombard 42 à 1000 Bruxelles

Publication à caractère scientifique visant à faire connaître les résultats des études et recherches menées dans le domaine de la construction en Belgique et à l'étranger.

La reproduction ou la traduction, même partielles, du texte de la présente Note d'information technique n'est autorisée qu'avec le consentement de l'éditeur responsable.

# Sommaire

<b>1 INTRODUCTION</b> .....	5
1.1 Généralités.....	5
1.2 Fonctions et composition de la toiture.....	7
1.3 Contexte énergétique.....	7
1.4 Coordination des travaux.....	8
<b>2 EXIGENCES DE CONCEPTION</b> .....	9
2.1 Données climatiques.....	9
2.2 Comportement au feu.....	20
2.3 Aspects environnementaux.....	23
2.4 Performances acoustiques.....	27
<b>3 COMPOSITIONS DE TOITURE</b> .....	29
3.1 Compositions classiques (éprouvées).....	29
3.2 Compositions de toiture techniquement inacceptables.....	32
3.3 Compositions de toiture nécessitant une attention particulière.....	35
<b>4 SUPPORTS DE TOITURE</b> .....	41
4.1 Types de supports.....	41
4.2 Recommandations.....	41
4.3 Examen du support.....	48
<b>5 PENTE DE LA TOITURE</b> .....	49
5.1 Généralités.....	49
5.2 Techniques de réalisation.....	50
<b>6 ÉCRAN PARE-VAPEUR</b> .....	55
6.1 Fonction.....	55
6.2 Choix.....	55
6.3 Pose.....	64
<b>7 ISOLATION DE LA TOITURE</b> .....	67
7.1 Caractéristiques des matériaux d'isolation pour toitures.....	67
7.2 Types de matériaux d'isolation pour toitures.....	73
7.3 Pose de l'isolation.....	76

8	ÉTANCHÉITÉS DE TOITURE	83
8.1	Généralités	83
8.2	Étanchéités bitumineuses	85
8.3	Étanchéités synthétiques	96
8.4	Étanchéités mises en œuvre à l'état liquide	108
8.5	Autres types d'étanchéités	113
8.6	Contrôle de l'étanchéité à l'eau des revêtements	113
9	PROTECTION DE L'ÉTANCHÉITÉ	115
9.1	Couches de protection légères	115
9.2	Couches de protection lourdes	116
9.3	Résistance au vent des toitures munies d'une protection lourde	119
10	RÉNOVATION DES TOITURES PLATES	123
10.1	Généralités	123
10.2	Examen de la toiture existante avant rénovation	124
10.3	Exemples de solutions de rénovation	124
11	ENTRETIEN ET ACCESSIBILITÉ DES TOITURES PLATES	131
11.1	Introduction	131
11.2	Étapes de l'entretien	131
11.3	Contrat d'entretien	132
11.4	Accessibilité et sécurité	132
12	PATHOLOGIES DES TOITURES PLATES	133
Annexe 1	Action du vent sur une toiture plate	143
Annexe 2	Condensation interne – Méthode de calcul et critères d'évaluation	147
Annexe 3	ATG – BENOR – ETA	148
Annexe 4	Liste des abréviations utilisées	149
	Bibliographie	150



# 1

## INTRODUCTION

### 1.1 GÉNÉRALITÉS

Le succès remporté par la Note d'information technique (NIT) n° 215, publiée en 2000, et les évolutions récentes dans plusieurs domaines ont amené le Comité technique Étanchéité à actualiser et à compléter ce document. La présente Note d'information technique, qui remplace la NIT 215, est le fruit de ces travaux.

Une *toiture plate* est une toiture rendue étanche par la pose d'une étanchéité, c'est-à-dire une membrane continue étanche à l'eau. L'étanchéité à la pluie d'une *toiture à versants* est, quant à elle, assurée par une couverture ou couche fragmentaire composée de matériaux discontinus (tuiles, ardoises, etc.) posés avec recouvrement. De par cette différence de composition, les toitures plates et les toitures à versants ont un comportement hygrothermique distinct. La toiture plate n'est pas forcément horizontale et peut présenter une forte pente.

Depuis les années '60, deux tendances se sont manifestées :

- l'utilisation de supports de toiture plus souples (légers) et fractionnés (préfabriqués)
- l'isolation thermique des bâtiments <sup>(1)</sup>, qui s'est largement accrue depuis 1975 – à l'origine en

grande partie en raison de l'évolution des prix pétroliers, à laquelle se sont ajoutées des considérations écologiques et de confort, qui ont abouti aux actuelles réglementations sur la performance énergétique des bâtiments (PEB).

Ces deux tendances ont intensifié les interactions entre les différents éléments de la toiture et entraîné des sollicitations hygrothermiques accrues, notamment au niveau de l'étanchéité. Les compositions et les matériaux de toiture des années '60 n'étaient pas conçus pour être mis en œuvre dans de telles conditions, ce qui a engendré une forte diminution de la longévité de l'étanchéité.

Depuis le début des années '80, des matériaux plus adaptés (bitume polymère à armature en polyester, membranes PVC plus épaisses et plastifiants améliorés, ...) ainsi que de meilleures techniques de fixation des recouvrements et de nouvelles règles de bonne pratique (épaisseur minimale à respecter, attestation d'aptitude à l'emploi, ...) ont permis d'accroître la longévité de l'étanchéité et d'apporter une solution économique aux problèmes évoqués. Les expériences

<sup>(1)</sup> Le terme 'isolation' est utilisé, dans le présent document, au sens d'isolation thermique ou de matériau d'isolation thermique.

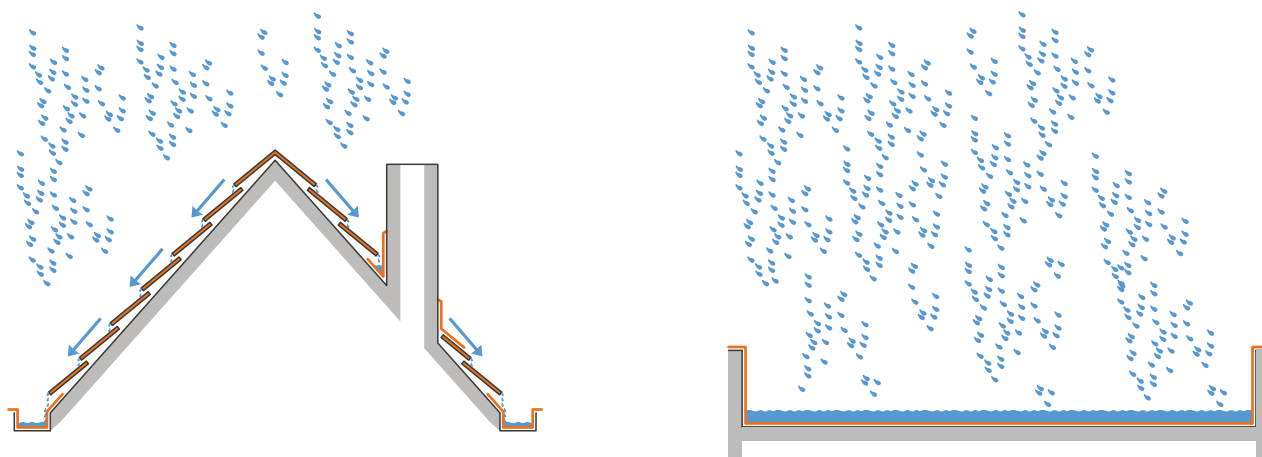


Fig. 1 Toiture à versants et toiture plate : principes.

recueillies avec ces nouveaux matériaux furent très positives.

Depuis la parution de la NIT 215, on note trois évolutions principales :

- l'accroissement des exigences auxquelles sont soumises les toitures plates, tant en matière énergétique (*nearly zero energy buildings*), acoustique et environnementale que sur le plan de la prévention de l'incendie, ...
- l'accroissement constant des fonctionnalités de la toiture plate, qui exerce souvent aussi une fonction de terrasse (accessible aux piétons), de jardin, voire de parking ou d'espace pour la pose de systèmes de récupération de l'eau et de l'énergie solaire
- une poursuite de l'amélioration des matériaux et techniques de pose avec, par exemple, l'acceptation sur le marché des étanchéités appliquées à l'état liquide.

La présente Note d'information technique se propose de présenter un aperçu général des connaissances actuelles en matière de toitures plates. La toiture devant toujours être considérée comme un tout, le document n'aborde pas seulement l'étanchéité pro-

prement dite, mais l'ensemble de la composition de toiture, c'est-à-dire le support de toiture (2), la pente, l'écran pare-vapeur, l'isolation, l'étanchéité et la couche de protection (ainsi que les couches de désolidarisation). Des chapitres sont également consacrés à la rénovation, à l'entretien de la toiture et à la pathologie.

Nous décrivons ici les compositions de toiture les plus fréquentes, ce qui n'exclut pas que d'autres solutions soient également envisageables. Il convient toutefois de souligner qu'en faisant un tel choix, le professionnel en assume pleinement la responsabilité (en particulier s'il s'écarte des prescriptions du présent document). Les ouvrages particuliers tels que les balcons [C4], les toitures vertes [C6] et les toitures-parkings [C12] sortent, quant à eux, du cadre de cette publication.

En ce qui concerne l'exécution des détails comme les rives de toiture, les joints de dilatation, les gouttières et les dispositifs d'évacuation d'eau, nous renvoyons à la [Note d'information technique n° 244](#) [C10] et aux détails d'exécution proposés dans la base de données 'Détails constructifs' en ligne sur le site web du CSTC.



(2) Le terme 'plancher' est aussi couramment employé pour désigner le support de toiture.

## 1.2 FONCTIONS ET COMPOSITION DE LA TOITURE

Les sept exigences fondamentales du Règlement sur les produits de construction (RPC) <sup>(3)</sup> sont abordées dans différents chapitres de la présente Note d'information technique (cf. tableau 1).

Sans nier l'importance de l'aspect esthétique de la toiture, il convient toutefois de préciser qu'il doit rester secondaire par rapport à la fonctionnalité de l'ouvrage (par exemple : refluage du bitume des joints, marquage des joints entre panneaux d'isolation, réparations, ...).

## 1.3 CONTEXTE ÉNERGÉTIQUE

Totalisant près de 25 % des déperditions thermiques du bâtiment, la toiture mérite d'être correctement isolée et rendue étanche à l'air, non seulement pour améliorer le confort thermique et éviter la condensation et la formation de moisissures, mais aussi et surtout pour réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre, et répondre aux exigences de plus en plus strictes en matière de performance énergétique du bâtiment (PEB).

Tableau 1 Chapitres de la NIT abordant les exigences du RPC.

Exigence fondamentale		Chapitres de la NIT
1	Résistance mécanique et stabilité	2, 3, 4
2	Sécurité en cas d'incendie	2, 7, 8, 9
3	Hygiène, santé et environnement	2, 6, 7, 8
4	Sécurité d'utilisation et accessibilité	2, 6, 7, 8, 11
5	Protection contre le bruit	2
6	Économie d'énergie et isolation thermique	2, 7
7	Utilisation durable des ressources naturelles	2

Ces exigences ont un effet non négligeable sur les épaisseurs d'isolation thermique à appliquer, lesquelles ont une influence sur la réalisation de la toiture plate (mise en œuvre de l'isolant, détails et raccords, ...).

Outre des exigences relatives aux parois, la PEB prévoit des exigences au niveau des raccords entre les parois du bâtiment ou nœuds constructifs. Celles-ci sont détaillées à l'annexe 1 de la [Note d'information technique n° 244](#) [C10].



<sup>(3)</sup> Voir <http://www.cstc.be/homepage/index.cfm?cat=services&sub=ce>

Quant à l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment, elle est également évoquée dans la NIT précitée et fait en outre l'objet d'une NIT distincte [C13].

#### 1.4 COORDINATION DES TRAVAUX

Dans l'hypothèse où l'étanchéité serait recouverte d'une couche supérieure réalisée par une autre firme (terrasse, lestage, panneaux solaires, ...), il est vivement recommandé d'effectuer la réception des travaux d'étanchéité avant la mise en œuvre de la couche supé-

rieure. En cas de problème d'étanchéité ultérieur, la responsabilité de l'entrepreneur d'étanchéité ne pourra en principe pas être mise en cause, sauf si la preuve est apportée que ses travaux sont entachés d'un vice caché qui n'a pu être détecté lors de la réception.

L'inspection et l'entretien sont d'une grande importance et relèvent de la responsabilité du maître d'ouvrage, qui peut éventuellement conclure un contrat spécifique avec un entrepreneur spécialisé en travaux d'étanchéité (de préférence, l'entrepreneur qui a exécuté les travaux).

# 2

## EXIGENCES DE CONCEPTION

### 2.1 DONNÉES CLIMATIQUES

Lors de la conception d'un toit plat, il convient de tenir compte du climat extérieur et, plus précisément, des précipitations, du vent et des variations de température.

#### 2.1.1 PRÉCIPITATIONS

En Belgique, on mesure entre 700 mm (nord de la Hesbaye) et presque 1400 mm (Hautes Fagnes) de précipitations par an (moyenne : 910 mm/an), avec chaque année en moyenne 142 jours de précipitations au moins égales à 1 mm et 26 jours de précipitations au moins égales à 10 mm (4).

La figure 2 illustre le rapport entre la durée des averses et l'intensité pluviale pour différentes périodes de retour. Une averse de 5 minutes d'une intensité de

0,050 l/s.m<sup>2</sup> ne survient par exemple que tous les 120 ans en moyenne, alors qu'une averse de même durée, mais d'une intensité de 0,030 l/s.m<sup>2</sup> survient tous les 7 ans.

Le débit que doit pouvoir reprendre le dispositif d'évacuation normal d'une toiture se calcule selon la norme NBN EN 12056-3 [B31]. La règle empirique d'une ouverture d'au moins 1 cm<sup>2</sup> de section par mètre carré de surface horizontale de toiture raccordée ne peut être appliquée que dans certaines conditions [V3]. Un système d'évacuation de secours est également à prévoir en cas de défaillance du système normal et/ou lorsque le donneur d'ordre ou son représentant (concepteur, par exemple) l'exige, notamment en raison du contenu ou de la fonction exceptionnelle du bâtiment (musée, par exemple) [V2].

Un stockage temporaire de l'eau sur la toiture peut

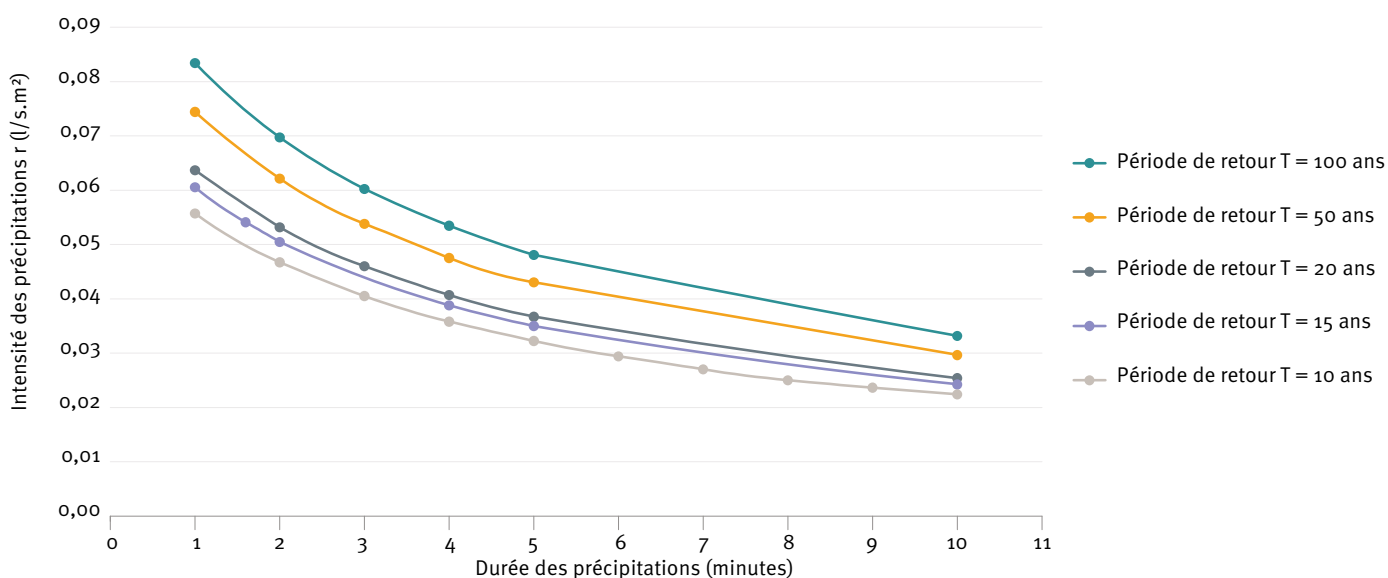


Fig. 2 Rapport entre l'intensité maximale et la durée des précipitations pour différentes périodes de retour T (selon la norme NBN B 52-011) [B7].

(4) Cf. <https://www.meteo.be> (consulté le 9/2/2022).

être intéressant, en particulier en région urbaine, pour délester le réseau d'égouttage. Les mesures nécessaires doivent bien entendu être prises pour garantir la stabilité et la durabilité du bâtiment et de l'étanchéité [M6].

Pour plus de détails à ce sujet, on consultera le [Rapport CSTC n° 21](#) [C3] ainsi que [Les Dossiers du CSTC 2019/5.8](#) [V2].

Pour les autres directives concernant la conception de l'évacuation des eaux pluviales de la toiture, nous renvoyons à la [Note d'information technique n° 270](#) [C17] et au Rapport précité.

En ce qui concerne la neige, la norme NBN EN 1991-1-3 [B27] indique les charges à prendre en compte (0,4 kN/m<sup>2</sup> à une altitude de 100 m et 1,2 kN/m<sup>2</sup> à une altitude de 700 m, par exemple). Différents phénomènes peuvent causer des surcharges supplémentaires [P1]. Citons notamment la variation de la masse volumique de la neige (qui peut quasiment doubler) selon la durée de l'enneigement et l'adjonction de pluie, le glissement de la neige d'une toiture supérieure attenante, les phénomènes de gel-regel (éventuellement combinés à un défaut d'évacuation de l'eau dégelée) ou l'accumulation d'eau à l'endroit de la déformée la plus importante du support.

## 2.1.2 VENT

Sur une toiture plate (par définition, pratiquement horizontale), le vent exerce des efforts de dépression dont l'importance dépend principalement de la localisation du bâtiment (littoral, ville, ...), de sa hauteur et de la surpression à l'intérieur des locaux (liée au fait que le support de toiture est étanche à l'air ou non). La dépression du vent n'est pas la même en tout point de la toiture en raison des turbulences : elle est plus élevée au droit des rives et maximale au niveau des angles.

L'étude du comportement au vent d'une toiture plate peut s'avérer très complexe et intervient dès le stade de la conception. Elle consiste à :

1. définir les dépressions du vent dans les zones courantes, de rive et d'angle (cf. § 2.1.2.1)
2. déterminer les dimensions de ces mêmes zones (§ 2.1.2.2, p. 13)
3. contrôler si la résistance du complexe toiture choisi est suffisante, c'est-à-dire si elle est supérieure ou égale aux pressions calculées (§ 2.1.2.3, p. 14).

L'étude des points 1 et 2 est réalisée conformément à l'Eurocode (NBN EN 1991-1-4) [B28] et à son document d'application nationale [B29]. Elle est du ressort du

bureau d'études. Quant au point 3, il incombe à l'entrepreneur, qui doit préciser la manière selon laquelle la technique de fixation permettra de résister à l'action du vent.

Nous reprenons ci-après quelques principes de base de la norme précitée et décrivons quelques cas fréquents pour des toitures plates rectangulaires ou en forme de L. On trouvera davantage d'explications ainsi que des exemples d'application à l'annexe 5 de la [Note d'information technique n° 239](#) [C8], dans le feuillet d'information 2012-2 de l'UBAtc [U2] et dans [Les Dossiers du CSTC 2016/2.5](#) [Z1].

Il est à noter que l'Eurocode définit les toitures plates comme des toitures dotées d'une pente inférieure à 5° (8,75 %). Pour des pentes supérieures, le texte qui suit n'est plus valable et il convient de se référer à la méthode de calcul des toitures à versants. Celle-ci ne prend toutefois pas en compte la présence d'acrotères.

L'article paru dans [Les Dossiers du CSTC 2020/4.4](#) [N1] propose une approche simplifiée et sécuritaire permettant de valider ou de vérifier rapidement une composition de toiture dans le cas de petits chantiers n'impliquant pas l'intervention d'un bureau d'études ou d'un chef de projet. [Les Dossiers du CSTC 2021/2.3](#) décrivent la procédure à suivre pour les toitures plates posées en adhérence.

### 2.1.2.1 Détermination de l'action du vent sur les toitures

Le calcul détaillé de l'action du vent s'effectue selon la norme NBN EN 1991-1-4 [B28] et est expliqué à l'annexe 5 de la [Note d'information technique n° 239](#) [C8]. Cette dernière propose des valeurs tabulées destinées à une estimation rapide de l'action du vent, qui sont reprises dans les tableaux 36 à 39 (pp. 143 à 146). Pour pouvoir utiliser ces tableaux, il est nécessaire de déterminer :

- la vitesse de référence du vent  $v_{b,o}$
- la hauteur de référence pour le calcul du vent  $z_e$
- la catégorie de rugosité du terrain
- l'étanchéité à l'air du support et des façades.

Ces éléments sont brièvement décrits ci-après et sont détaillés dans les documents précités.

#### ■ Vitesse de référence du vent $v_{b,o}$

La vitesse de référence du vent  $v_{b,o}$  dépend de la localisation du bâtiment dans le pays. Elle est indiquée sur la carte reproduite à la figure 3.



Fig. 3 Vitesse de référence du vent en Belgique [C8].

■ Hauteur de référence pour le calcul du vent  $z_e$

La hauteur  $z_e$  représente la hauteur de l'obstacle que le vent doit physiquement franchir. Elle est calculée à partir du niveau de référence  $z = 0$ . Dans la majorité des cas, ce niveau est pris au pied du bâtiment, mais, dans certaines situations, il doit être déplacé d'une hauteur  $h_{dis}$  :

- en cas de dénivellation (figure 4)
- en zones 0 et I, en bord de mer (hauteur comprise entre le niveau de la toiture et la marée basse) (figure 5)
- en zone IV, en ville (prise en compte de la hauteur des bâtiments voisins) (figure 6).

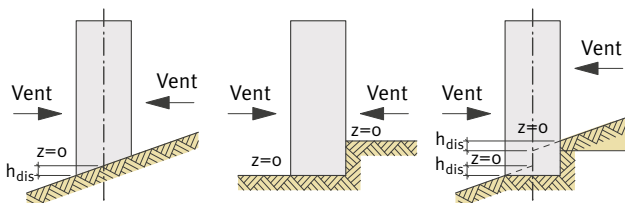


Fig. 4 Niveau de référence  $z = 0$  en cas de dénivellation.

La norme NBN EN 1991-1-4 et son annexe nationale belge [B28, B29] donnent plus de détails concernant le calcul de la hauteur  $h_{dis}$ .

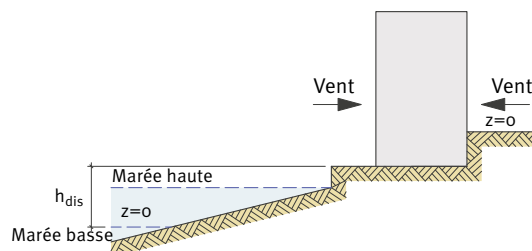
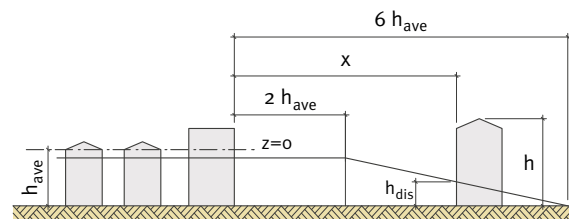


Fig. 5 Niveau de référence  $z = 0$  en bord de mer.



$h_{ave}$  = hauteur d'obstruction (cf. NBN EN 1991-1-4 et ANB) [B28, B29]

Fig. 6 Niveau de référence  $z = 0$  en ville.

### ■ Catégorie de rugosité du terrain

Les catégories de rugosité du terrain sont décrites dans la norme et son annexe nationale, et dépendent de la situation du bâtiment, de la hauteur de référence du vent et de son orientation. Elles sont illustrées au tableau 2.

Pour déterminer la catégorie de rugosité, on prend en compte une zone de  $x$  mètres de rayon autour du bâti-

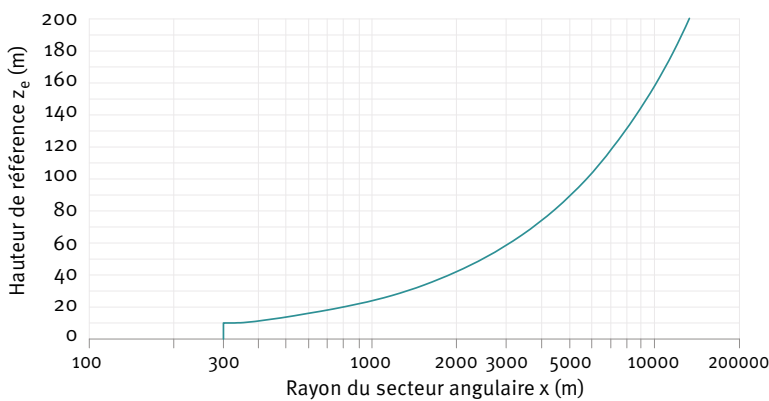


Fig. 7 Rayon du secteur angulaire  $x$ .

ment. La figure 7 donne la valeur de  $x$  en fonction de la hauteur de référence  $z_e$ . Dans ce secteur, on recherche la zone la plus défavorable, qui s'appliquera à tout le secteur. Le module de calcul **CInt**, disponible sur le site Internet du CSTC, permet de déterminer la catégorie de rugosité.

### ■ Étanchéité à l'air du support et des façades – Présence ou non d'une face dominante – Présence ou non d'acrotères et hauteur des acrotères

On fait la distinction entre :

- les **supports étanches à l'air** : il s'agit de supports constitués
  - de béton coulé *in situ*
  - d'éléments préfabriqués avec béton de seconde phase
  - d'éléments préfabriqués sans béton de seconde phase pour autant que les éléments soient jointoyés (conformément à la **NIT 223**) [C5]
  - de tout type de support avec pare-vapeur adhérent à recouvrements étanches
- les **supports perméables à l'air** : ils sont constitués de bois, de tôles d'acier sans pare-vapeur ou avec

Tableau 2 Catégories de rugosité de terrain.

Catégories de rugosité	Description de la zone	Exemples
0	Mer ou zone côtière exposée aux vents de mer	
I	Lac ou zone à végétation négligeable et libre de tout obstacle	
II	Zone à végétation basse telle que de l'herbe, avec ou non quelques obstacles isolés (arbres, bâtiments) séparés les uns des autres d'une distance au moins égale à 20 fois leur hauteur	
III	Zone à couverture végétale régulière ou avec des bâtiments ou des obstacles isolés séparés d'une distance au plus égale à 20 fois leur hauteur (village, zone suburbaine, forêt permanente, par exemple)	
IV	Zone urbaine dont au moins 15 % de la surface sont recouverts de bâtiments d'une hauteur moyenne supérieure à 15 m	

pare-vapeur posé librement ou d'éléments préfabriqués non jointoyés.

En ce qui concerne les façades, on distingue :

- les bâtiments à une face dominante, dont l'aire des ouvertures est supérieure ou égale à 2 ou 3 fois l'aire des ouvertures et entrées d'air des autres faces
- les bâtiments sans face dominante.

Les cas 1a à 3 des tableaux 36 à 39 (pp. 143 à 146) correspondent aux différentes combinaisons précitées du support et des façades :

- cas 1a = support perméable à l'air, façade majoritairement perméable à l'air (2 x)
- cas 1b = support perméable à l'air, façade majoritairement perméable à l'air (3 x)
- cas 2 = support perméable à l'air, façades à perméabilité uniforme
- cas 3 = support imperméable à l'air.

La présence d'un acrotère exerce une influence positive sur l'action du vent dans les zones de rive et les zones d'angle. Les tableaux précités distinguent donc les toitures avec et sans acrotère. Dans le premier cas, une nouvelle distinction est faite en fonction de la hauteur de l'acrotère  $h_p$  : 0,025, 0,05 ou 0,10 x la hauteur du bâtiment jusqu'au support de toiture  $h$  (figure 8); pour les valeurs intermédiaires, une interpolation linéaire peut être effectuée. Les valeurs de  $h_p$

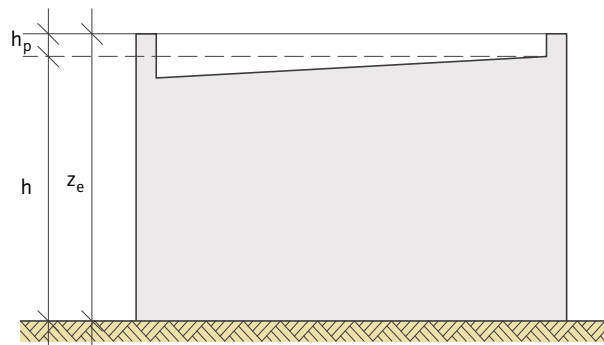


Fig. 8 Hauteur du bâtiment jusqu'au support de toiture  $h$  – Hauteur de l'acrotère  $h_p$  – Hauteur de référence pour le calcul du vent  $z_e$ .

et de  $h$  sont relevées à l'endroit du pourtour du bâtiment où la hauteur de l'acrotère est la plus faible (cas le plus défavorable).

### 2.1.2.2 Détermination des zones de rive et des zones d'angle

Les zones d'angle et les zones de rive sont soumises à des sollicitations plus intenses que la partie courante de la toiture. Elles sont définies sur la base de la figure 9 pour un bâtiment rectangulaire. Il est recommandé que les zones de rive aient toujours une largeur  $\geq 1$  m.

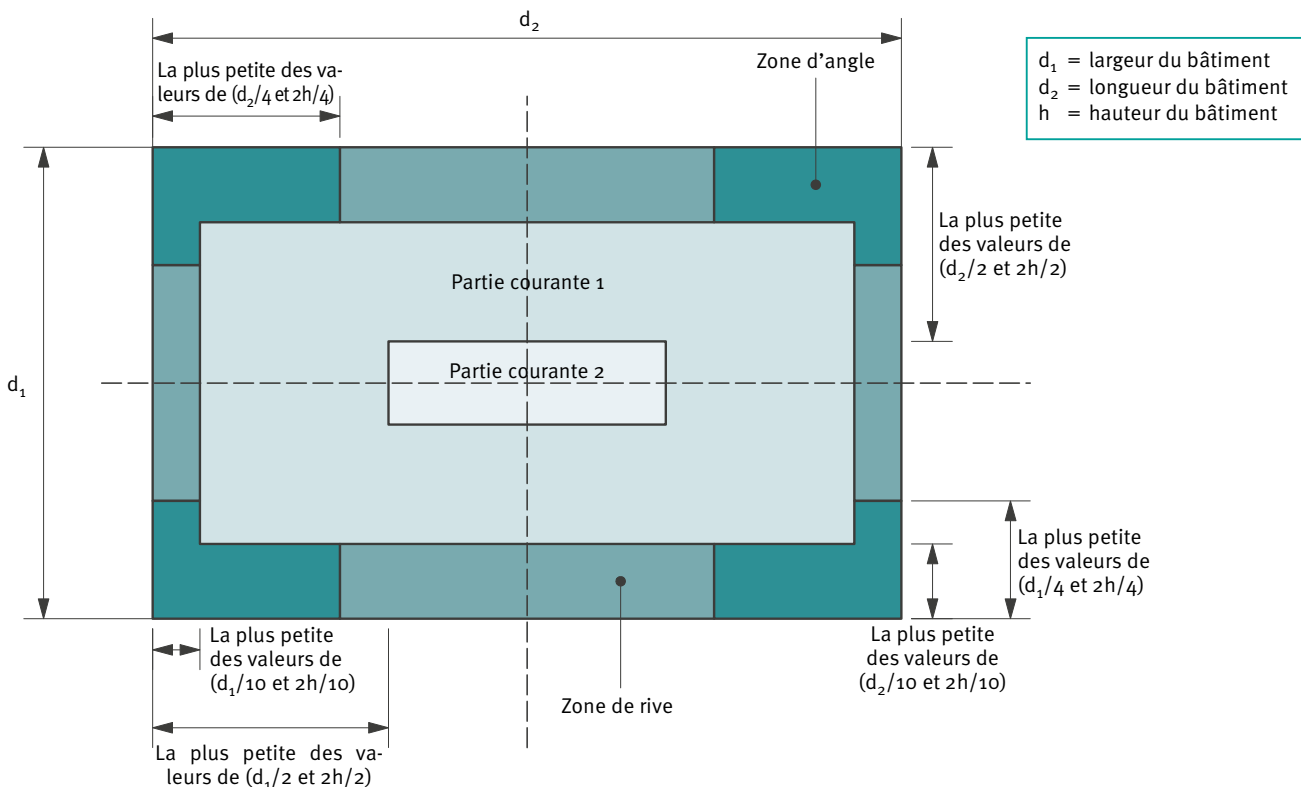


Fig. 9 Détermination des zones de rive, des zones d'angle et des parties courantes 1 et 2.

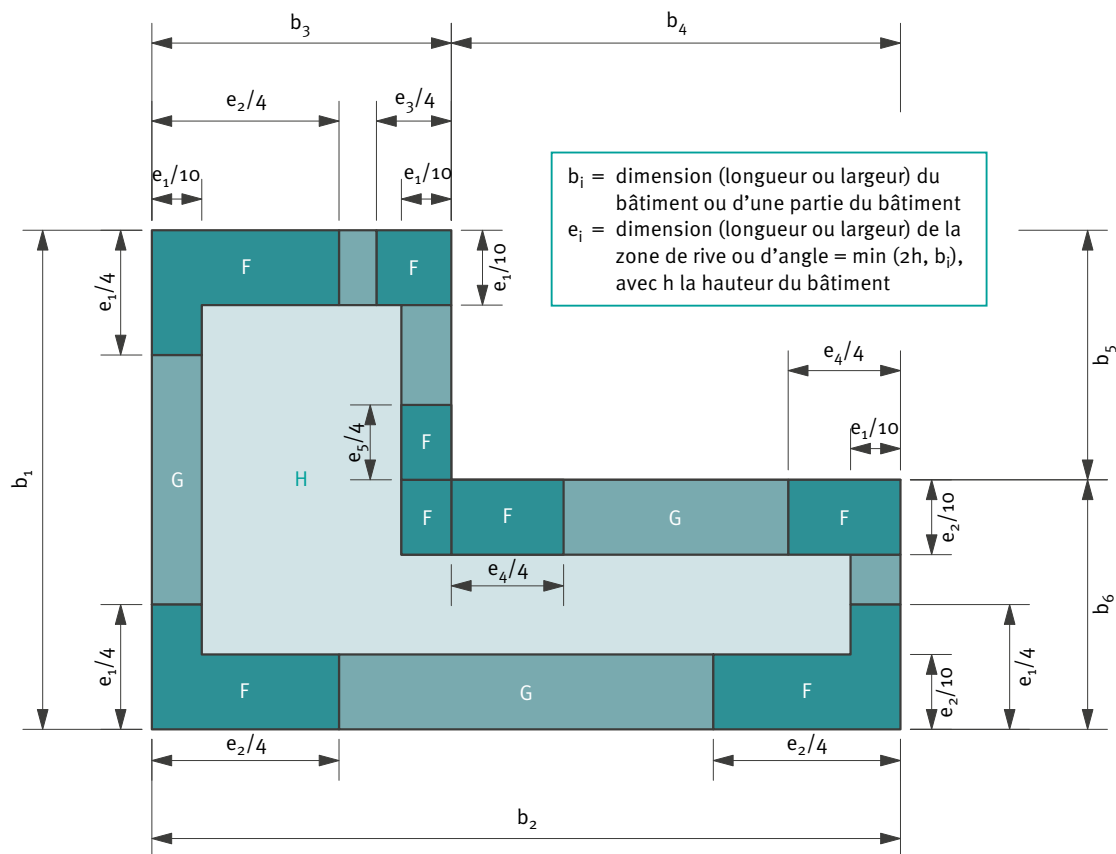


Fig. 10 Détermination des zones de rive (G), des zones d'angle (F) et de la partie courante (H) d'un bâtiment de forme complexe.

Dans le cas de l'extension d'un bâtiment, on tient compte des dimensions du bâtiment dans son ensemble, et pas seulement de l'annexe. L'ajout d'une annexe peut entraîner une modification des zones de rive et des zones d'angle de l'ouvrage existant.

La figure 10 illustre le cas d'un bâtiment de forme complexe tel qu'un bâtiment rectangulaire auquel une annexe rectangulaire a été ajoutée. D'autres formes de bâtiments complexes sont traitées dans [Les Dossiers du CSTC 2016/2.5 \[Z1\]](#).

### 2.1.2.3 Résistance au vent

La stabilité au vent d'un toit plat est assurée par :

- un **collage** suffisant des couches les unes aux autres, leur cohésion et leur adhérence au support (adhésion).  
*Dégâts possibles* : décollement du pare-vapeur, décollement de l'étanchéité, décollement ou délaminage du matériau isolant, décollement du parement (5) de l'isolation

- une **fixation mécanique** suffisante de l'isolation et/ou de l'étanchéité et de toute autre couche faisant partie du complexe toiture.

*Dégâts possibles* : détachement des vis ou des plaquettes de répartition, déchirement de l'étanchéité, décohésion ou poinçonnement de l'isolation, délaminage ou décollement du parement du matériau isolant

- une **couche de protection** suffisamment lourde (ou lestée).

*Dégâts possibles* : arrachement de l'isolation et/ou de l'étanchéité par le vent en raison de la masse insuffisante de la couche de protection lourde, ou risque de voir la couche de protection proprement dite emportée ou déplacée par le vent (voir chapitre 9, p. 115)

- un **lestage** continu dans les zones concernées, en présence d'un système collé dont la résistance au vent est insuffisante (une fixation mécanique ne peut pas être combinée à une autre technique de fixation; le nombre de fixations doit être adapté à la charge du vent et non complété par un lestage, par exemple).

(5) Les termes 'surfaçage', 'revêtement' et ' finition' sont également couramment employés.

Les attestations d'aptitude à l'emploi des isolants et étanchéités de toiture indiquent la résistance utile au vent des systèmes adhérents ou à fixation mécanique. Il s'agit de valeurs de calcul basées sur des résultats d'essais au vent réalisés sur des toitures [B51, E2, U5, U6, U7, U8, U9].

La valeur de la résistance utile déduite de l'essai comprend, outre un coefficient de sécurité de 1,5 sur les matériaux, des facteurs de correction géométrique et statistique tenant compte des dimensions de la zone de test, du nombre de panneaux d'isolation et, le cas échéant, du nombre de fixations de ces panneaux. Le calcul de la résistance utile des vis (systèmes fixés mécaniquement) est détaillé à l'annexe 3 de la [Note d'information technique n° 239](#) [C8].

Dans le cas des systèmes en adhérence, la résistance dépend avant tout des produits adhésifs (compatibilité, mise en œuvre) et de la résistance au délaminage des panneaux d'isolation.

En l'absence de résultats d'essai pour l'étanchéité ou pour le pare-vapeur, on applique les valeurs de résistance au vent forfaitaires indiquées dans les tableaux 3 et 4. Ces tableaux supposent une mise en œuvre correcte et des conditions atmosphériques adéquates pendant et après la pose (séchage). Les valeurs mentionnées dans la documentation ou l'attestation d'aptitude à l'emploi d'un produit sont en général nettement plus élevées que les valeurs forfaitaires, sécuritaires.

Tableau 3 Résistance utile au vent des étanchéités de toiture bitumineuses (coefficient de sécurité de 1,5 compris).

Fixation sur le support (support de toiture ou isolation)	Résistance au vent forfaitaire	
	Adhérence totale	Adhérence partielle
Soudage	3000 Pa	2000 Pa
Collage à froid (colle bitumineuse) <sup>(1)</sup>	2500 Pa <sup>(2)</sup>	– <sup>(3)</sup>
Membrane autoadhésive	– <sup>(3)</sup>	– <sup>(3)</sup>
Bitume chaud	3000 Pa	2000 Pa (VP 45/30)
Fixation mécanique dans des tôles profilées en acier, la sous-couche d'un système bicouche (fixation uniformément répartie) ou une couche d'isolation sur laquelle une étanchéité est posée en adhérence	400 N/fixation <sup>(4)</sup>	
Fixation mécanique dans les tôles profilées en acier d'un système monocouche	300 N/fixation <sup>(5)</sup>	
Fixation mécanique dans du béton ou dans des panneaux de bois	– <sup>(6)</sup>	
<sup>(1)</sup> Mélange liquide de bitume (au minimum 45 % dans le résidu sec) et de solvants ou de polymères, adapté au collage en adhérence totale ou partielle (par bandes ou par plots) d'une étanchéité de toiture. <sup>(2)</sup> 2000 Pa sur la laine minérale (MW), 1500 Pa sur la perlite expansée (EPB); résistance initiale limitée pour les colles bitumineuses à froid. <sup>(3)</sup> Trop peu d'informations disponibles (se référer à la documentation ou à l'attestation d'aptitude à l'emploi). <sup>(4)</sup> Cette valeur s'applique si la résistance en traction de la vis est $\geq 1200$ N; si elle est $\geq 1350$ N, on peut considérer une valeur de 450 N/fixation. <sup>(5)</sup> Cette valeur s'applique si la résistance en traction de la vis est $\geq 1200$ N. <sup>(6)</sup> Un essai est nécessaire.		

Tableau 4 Résistance utile au vent des étanchéités de toiture synthétiques sous-facées (coefficient de sécurité de 1,5 compris).

Fixation sur le support	Résistance au vent forfaitaire
Collage à froid en adhérence totale <sup>(1)</sup>	2000 Pa
Membrane autoadhésive	– <sup>(2)</sup>
Bitume chaud	– <sup>(2)</sup>
Fixation mécanique dans les tôles profilées en acier d'un système monocouche	300 N/fixation <sup>(3)</sup>
Fixation mécanique dans du béton ou dans des panneaux de bois	– <sup>(2)</sup>
<sup>(1)</sup> La colle doit être adaptée à l'usage prévu. <sup>(2)</sup> Un essai est nécessaire. <sup>(3)</sup> Cette valeur s'applique si la résistance en traction de la vis est $\geq 1200$ N.	

Pour déterminer la résistance au vent du complexe de toiture, il convient d'examiner la résistance au vent de chacune des couches (support, pare-vapeur, isolation, étanchéité). La valeur la plus basse sera déterminante (sauf si elle n'a pas d'influence sur les couches supérieures, comme dans le cas des couches situées sous une couche fixée mécaniquement).

Pour assurer la résistance au vent des complexes de toiture lestés, il convient de vérifier que le lestage est suffisant pour reprendre la charge du vent (totale ou en complément d'une autre technique de fixation que la fixation mécanique) et que la stabilité au vent du lestage lui-même est suffisante. Un coefficient de sécurité doit être appliqué au poids du lestage. Par simplification, ce poids est multiplié par 1,1. Il faut en outre s'assurer que le support de toiture est apte à reprendre la surcharge entraînée par le lestage.

#### 2.1.2.4 Comparaison entre la résistance au vent et l'action du vent

La résistance au vent mentionnée dans les attestations d'aptitude à l'emploi (ou dans les tableaux 3 et 4, p. 15) doit être supérieure à l'action du vent calculée selon la norme NBN EN 1991-1-4 [B28] ou déterminée sur la base des tableaux 36 à 39 (pp. 143 à 146).

#### 2.1.2.5 Action du vent et résistance au vent : exemples

Nous partons des données suivantes :

- bâtiment isolé rectangulaire en zone suburbaine (catégorie de rugosité III)
- hauteur du bâtiment :  $h = 12$  m ( $z_e = 12$  m;  $z = 0$  en pied de bâtiment)
- dimensions du bâtiment : largeur ( $d_1$ ) = 16 m, longueur ( $d_2$ ) = 24 m
- situation en région de Namur (vitesse de référence du vent  $v_{b,0} = 24$  m/s → tableau 37, p. 144)
- support de toiture imperméable à l'air (béton) (cas 3 du tableau 37)
- acrotères de 60 cm de hauteur ( $h_p/h = 0,05$ ).

Seuls les systèmes de toiture lestés ou posés en adhérence sont traités dans ce qui suit, la [Note d'information technique n° 239](#) [C8] décrivant en détail le cas des systèmes fixés mécaniquement.

##### 2.1.2.5.1 Détermination des zones de rive et des zones d'angle

La figure 11 présente les dimensions des zones d'angle, des zones de rive et des parties courantes. La largeur de la zone de rive est bien  $\geq 1$  m. Il n'y a, dans cet exemple, pas de partie courante 2.

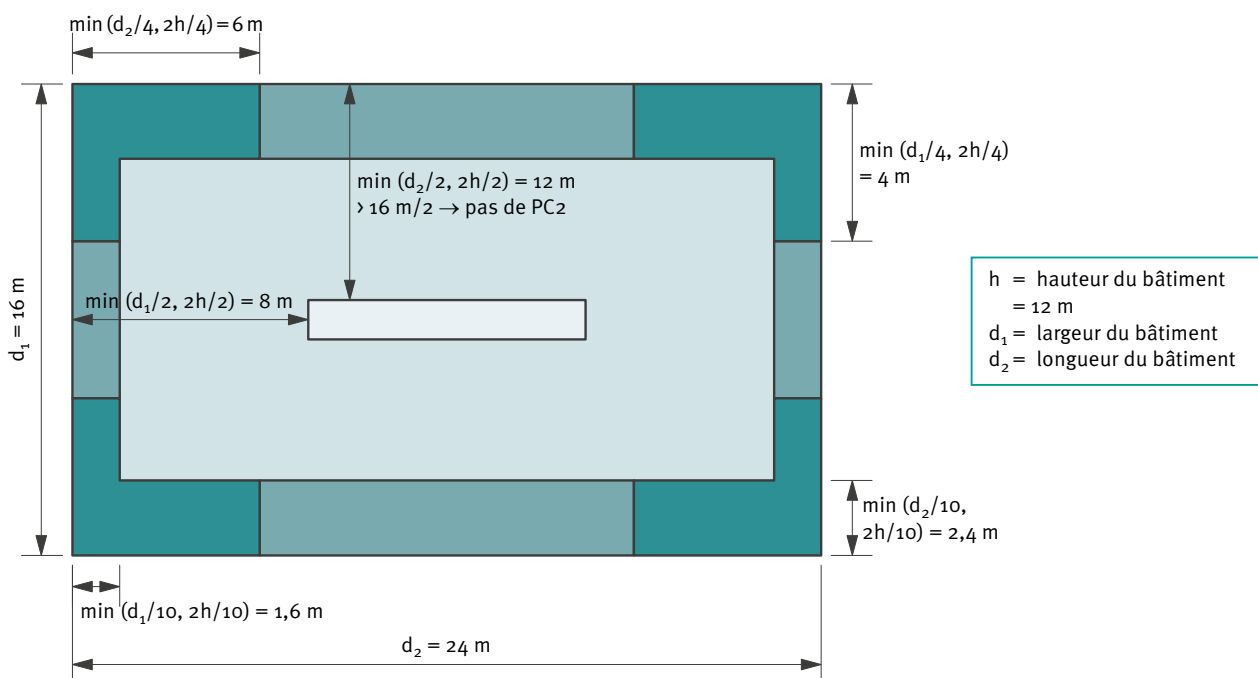


Fig. 11 Dimensions des zones d'angle, des zones de rive et des parties courantes (voir la figure 9, p. 13, pour la délimitation des différentes zones).

### 2.1.2.5.2 Contrôle de la résistance utile au vent d'une étanchéité de toiture collée

Il ressort du cas 3 du tableau 37 (p. 144) que la dépression causée par le vent équivaut à :

- - 910 Pa dans la partie courante 1
- - 1213 Pa dans la zone de rive
- - 1517 Pa dans la zone d'angle.

Selon le tableau 3 (p. 15), toutes les techniques de pose d'une étanchéité bitumineuse en adhérence totale donnent une résistance au vent suffisante pour reprendre ces actions.

Dans le cas où l'étanchéité serait placée sur une isolation et un pare-vapeur également posés en adhérence, il conviendra de tenir compte de la cohésion interne de l'isolation et de l'adhérence du pare-vapeur sur le support (documentation technique, résultat d'essai). Si l'isolation est constituée de perlite expansée, la valeur forfaitaire de la résistance au vent est limitée à 1500 Pa et est donc légèrement dépassée en zone d'angle : il faudra y appliquer un lestage complémentaire ou choisir une autre solution de toiture, à moins que les produits utilisés disposent d'une attestation d'aptitude à l'emploi indiquant une valeur de résistance au vent supérieure à la valeur forfaitaire.

Il y a lieu de vérifier que la fixation de chacune des couches inférieures (pare-vapeur éventuel, isolation) et leur cohésion (isolation) suffisent pour reprendre la charge du vent. La valeur la plus basse sera déterminante (sauf pour les couches situées sous une couche fixée mécaniquement).

### 2.1.2.5.3 Quantité de lestage sur une étanchéité posée en indépendance

Si les dalles ou le gravier doivent permettre de reprendre l'action du vent sur la toiture posée en indépendance, la valeur de calcul de leur poids doit être au moins égale à l'action du vent, en appliquant un coefficient de sécurité supplémentaire de 1,1 au poids de la couche de dalles ou de gravier :

- partie courante 1 :  $|- 910| \text{ Pa} \rightarrow 910 \text{ Pa} / 9,81 \text{ m/s}^2 * 1,1 = 102 \text{ kg/m}^2$  <sup>(6)</sup>
- zone de rive :  $|- 1213| \text{ Pa} \rightarrow 1213 \text{ Pa} / 9,81 \text{ m/s}^2 * 1,1 = 136 \text{ kg/m}^2$

- zone d'angle :  $|- 1517| \text{ Pa} \rightarrow 1517 \text{ Pa} / 9,81 \text{ m/s}^2 * 1,1 = 170 \text{ kg/m}^2$ .

Si l'on considère, par exemple, une masse volumique de  $1800 \text{ kg/m}^3$  pour les dalles en béton et de  $1400 \text{ kg/m}^3$  pour le gravier roulé (7), on obtient les épaisseurs suivantes :

- partie courante 1 :  $102 \text{ kg/m}^2 / 1800 \text{ kg/m}^3 = 5,7 \text{ cm}$  de dalles ou  $102 \text{ kg/m}^2 / 1400 \text{ kg/m}^3 = 7,3 \text{ cm}$  de gravier
- zone de rive :  $136 \text{ kg/m}^2 / 1800 \text{ kg/m}^3 = 7,7 \text{ cm}$  de dalles ou  $136 \text{ kg/m}^2 / 1400 \text{ kg/m}^3 = 9,7 \text{ cm}$  de gravier
- zone d'angle :  $170 \text{ kg/m}^2 / 1800 \text{ kg/m}^3 = 9,4 \text{ cm}$  de dalles ou  $170 \text{ kg/m}^2 / 1400 \text{ kg/m}^3 = 12,1 \text{ cm}$  de gravier.

Il convient de vérifier que la composition de toiture envisagée (support, isolation, ...) puisse reprendre ces charges. Si ce n'est pas le cas, on optera pour une autre composition de toiture ou une autre technique de fixation.

Il faut en outre s'assurer que le poids du lestage suffit pour résister à l'action du vent afin d'éviter qu'il se soulève et se déplace. La quantité de lestage requise peut être déterminée au moyen des tableaux 33 et 34 (pp. 120 et 121), dans lesquels le coefficient de sécurité de 1,1 est inclus. Les tableaux donnent pour le présent exemple (voir le détail des hypothèses et conditions au § 3 du Feuillet d'information UBAtc 2012/2) [U2] :

- partie courante 1 :  $32 \text{ kg/m}^2$
- zone de rive :  $54 \text{ kg/m}^2$
- zone d'angle :  $67 \text{ kg/m}^2$ .

Ces quantités sont bien inférieures à celles nécessaires pour reprendre l'action du vent (tableau 5, p. 18).

Dans le cas où le lestage est composé de gravier, il conviendra en outre de respecter les diamètres minimaux repris au tableau 34 (p. 121). Dans le présent exemple, les diamètres minimaux sont égaux à 44 mm dans les zones d'angle et à 17 mm dans les zones courantes et les zones de rive. Il est *a priori* plus raisonnable d'utiliser des dalles, dans la mesure où des granulats d'un tel calibre seraient plutôt difficiles à obtenir, si ce n'est avec des galets, par exemple (tableau 6, p. 18).

<sup>(6)</sup>  $910 \text{ Pa} = 910 \text{ N/m}^2 = 910 \text{ kg.m/s}^2$ .  $1 \text{ m}^2 = 910 \text{ kg/m.s}^2$

$g = 9,81 \text{ m/s}^2 = \text{accélération due à la pesanteur}$  ( $9,81 \text{ N} = 1 \text{ kg}$ )

$910 \text{ Pa} / 9,81 \text{ m/s}^2 = 910 \text{ kg/m.s}^2 / 9,81 \text{ m/s}^2 = 93 \text{ kg/m}^2$

<sup>(7)</sup> Masse volumique des granulats en vrac (ordre de grandeur) : gravier roulé ou semi-roulé :  $1,4 \text{ T/m}^3$ ; concassé calcaire :  $1,25$  à  $1,65 \text{ T/m}^3$  selon le calibre; porphyre :  $1,35$  à  $1,45 \text{ T/m}^3$  selon le calibre.

Tableau 5 Poids minimum requis (en kg/m<sup>2</sup>, coefficient de sécurité  $\gamma_G = 1,1$ ) pour des dalles de lestage résistant au vent (vent  $v_{b,0} = 24$  m/s, coefficient de sécurité  $\gamma_Q = 1,25$ ,  $c_{prob} = 0,959$  et pente du terrain  $\leq 5$  %).

Localisation	Hauteur de toiture (m)															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>0 Mer</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>I Lac ou zone à végétation négligeable</b>	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9	16,3	19,4	22,6
<b>II Zone à végétation basse</b>	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2
<b>III Zone à couverture végétale régulière</b>	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0
<b>IV Bâtiments &gt; 15 m</b>	16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-
<b>Zone d'angle</b>	51	55	58	60	63	67	71	75	78	80	87	92	96	100	103	109
<b>Zone de rive</b>	41	44	46	48	50	54	57	60	62	64	69	73	77	80	83	87
<b>Zone courante 1</b>	24	26	28	29	30	32	34	36	37	39	42	44	46	48	50	52
<b>Zone courante 2</b>	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	8	8	8	9

Tableau 6 Diamètre minimum requis (en mm) pour un gravier de lestage résistant au vent (vent  $v_{b,0} = 24$  m/s, coefficient de sécurité  $\gamma_Q = 1,25$ ,  $c_{prob} = 0,959$  et pente du terrain  $\leq 5$  %).

Localisation	Hauteur de toiture (m)															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>0 Mer</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>I Lac ou zone à végétation négligeable</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9	16,3
<b>II Zone à végétation basse</b>	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2
<b>III Zone à couverture végétale régulière</b>	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0
<b>IV Bâtiments &gt; 15 m</b>	16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-
<b>Zone d'angle</b>	34	36	38	39	41	44	46	49	51	52	56	59	62	64	67	70
<b>Zone de rive</b>	13	14	15	15	16	17	18	19	20	20	22	23	24	25	26	27
<b>Zone courante 1</b>	13	14	15	15	16	17	18	19	20	20	22	23	24	25	26	27
<b>Zone courante 2</b>	13	14	15	15	16	17	18	19	20	20	22	23	24	25	26	27

### 2.1.3 TEMPÉRATURE

Des mesures effectuées à la station expérimentale du CSTC à Limelette ont démontré qu'en l'absence de vent et de nuages, la température superficielle d'une toiture chaude isolée peut atteindre des valeurs extrêmes. Lors des journées ensoleillées des mois d'été, elle peut dépasser 70 °C sur des matériaux d'étanchéité gris clair, voire 80 °C sur des matériaux noirs. Un lestage de gravier de teinte claire permet de limiter la température à environ 55 °C. En cas d'averse soudaine, l'étanchéité peut se refroidir considérablement en quelques minutes, induisant des chocs thermiques d'autant plus importants que la toiture est munie d'une forte épaisseur d'isolation. Durant la nuit, l'étanchéité peut présenter une différence de température d'environ 12 °C par rapport à la température de l'air sous l'effet du surrefroidissement.

La figure 12 montre les températures relevées sur des membranes d'étanchéité de teinte noire et de teinte blanche à la station expérimentale, en mai 2020, au cours d'une période ensoleillée sans pluie. On constate par exemple que les températures maximales atteignent 70 °C ou plus sur la membrane noire et 60 °C sur la membrane blanche. Des mesures comparables réalisées en 2003 révélaient des températures maximales d'une valeur similaire sur une membrane noire, de 55 °C sur une toiture lestée de gravier et de 35 °C sur une toiture verte légère.

Des membranes de teinte claire et des peintures réfléchissantes

(toitures dites réfléchissantes ou *cool roofs*) ont été développées, afin de réduire les températures de surface et notamment d'accroître les performances des installations photovoltaïques les surmontant ou de prolonger la durée de vie de l'étanchéité. Selon certaines sources [A3, H1], elles permettraient même de limiter les besoins de refroidissement en été. Toutefois, ces gains éventuels sont souvent faibles en comparaison de ceux liés à l'accroissement de l'épaisseur d'isolation, et n'ont quasiment pas d'effet sur la température intérieure. De plus, ils peuvent être compensés par l'influence (prédominante) des coupes et lanterneaux sur le comportement thermique de la toiture, voire par les surcoûts d'exécution et d'entretien qu'implique une étanchéité de teinte blanche [S8]. La figure 13 (p. 20) présente les simulations thermiques effectuées pour deux complexes de toiture identiques, à l'exception de la teinte de l'étanchéité; on note que la température maximale de l'étanchéité blanche est inférieure de 34 °C à celle de l'étanchéité noire.

Les valeurs extrêmes susmentionnées ne sont observées que quelques heures par an. L'écart entre les températures nocturnes et diurnes de l'étanchéité peut atteindre 65 à 70 °C. Les teintes claires et les matériaux réfléchissants assurent une température de surface plus favorable, pour autant que l'étanchéité ne s'assombrisse pas ou que l'effet réfléchissant ne disparaisse pas au cours du temps (les données du *Cool Roof Rating Council* font apparaître une diminution de la réflexion initiale de 6 à 30 % en 3 ans) (8).

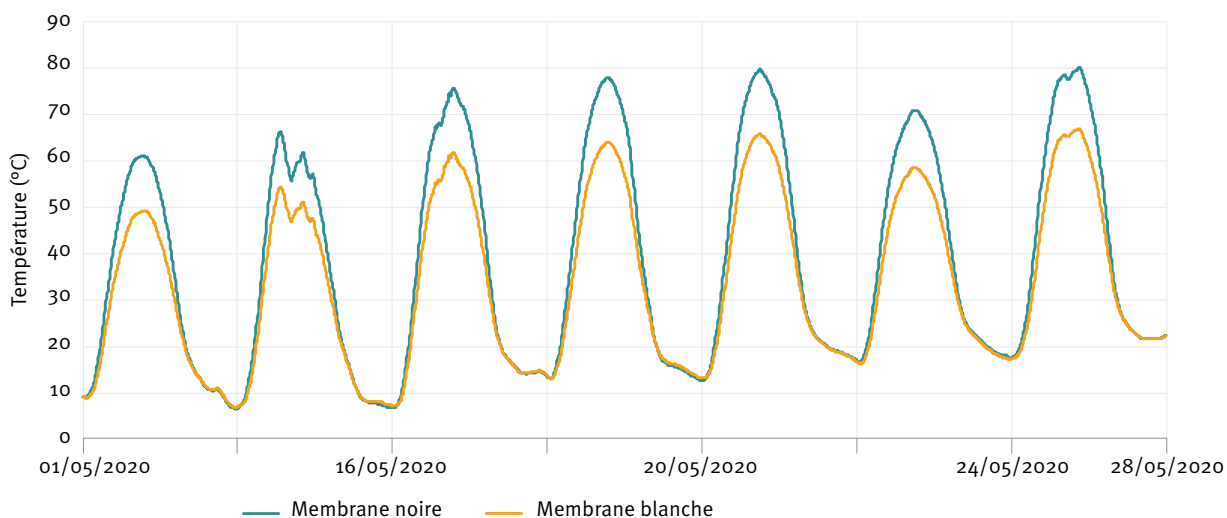


Fig. 12 Températures à la surface de membranes d'étanchéité de teinte noire et de teinte blanche (mesures réalisées au CSTC).

(8) Cf. <https://www.coolroofs.org> consulté le 20/01/2015.

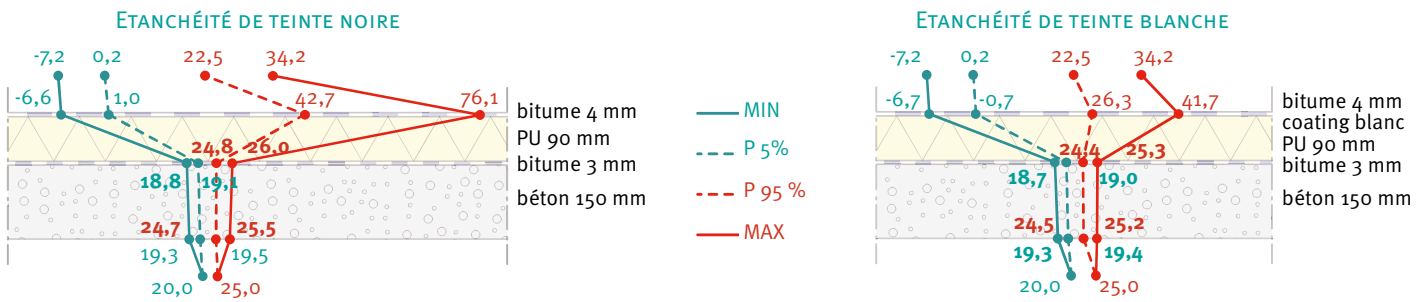


Fig. 13 Simulations thermiques effectuées sur deux complexes de toiture identiques munis d'une étanchéité de teinte différente.

## 2.2 COMPORTEMENT AU FEU

La sécurité incendie constitue l'une des sept exigences fondamentales du Règlement européen sur les produits de construction (RPC). Les ouvrages de construction doivent être conçus et construits de manière à ce qu'en cas d'incendie :

- la stabilité des éléments porteurs soit assurée pendant une durée déterminée
- l'apparition et la propagation du feu et de la fumée à l'intérieur de l'ouvrage soient limitées
- l'extension du feu à des ouvrages voisins soit limitée
- les occupants puissent quitter l'ouvrage indemnes ou être secourus d'une autre manière
- la sécurité des équipes de secours soit prise en considération.

L'arrêté royal du 7 juillet 1994 en matière de sécurité contre l'incendie et ses modifications [S5] (dits arrêté 'normes de base') fixent des exigences auxquelles doivent répondre la conception et la mise en œuvre de tous les bâtiments nouveaux (y compris, dans certains cas, les bâtiments réaffectés), à l'exception des maisons unifamiliales et des bâtiments de moins de 100 m<sup>2</sup> ne comportant pas plus de deux niveaux. Ces dispositions peuvent être complétées par des règlements régionaux, communautaires, provinciaux ou communaux.

### 2.2.1 RÉSISTANCE AU FEU

La résistance au feu est l'aptitude d'un élément de construction à conserver, pendant une durée déterminée, la stabilité au feu, l'étanchéité au feu (parfois appelée étanchéité aux flammes) et l'isolation thermique requises ainsi que toute autre fonction exigée. Ces critères sont testés lors d'un essai normalisé de résistance au feu réalisé selon les normes NBN EN ISO 13943 [B55] et NBN EN 13501-2 [B44]. La résistance

au feu est classée selon la norme NBN EN 13501-2 et est désignée par les initiales 'REI', où 'R' représente le caractère porteur de l'élément, 'E' son étanchéité au feu et 'I' son isolation thermique. Les exigences en matière de résistance au feu fixées dans l'arrêté 'normes de base' diffèrent en fonction de la hauteur du bâtiment (bâtiment élevé : > 25 m, bâtiment moyen : 10 à 25 m, ou bâtiment bas : < 10 m) ou selon qu'il s'agisse d'un bâtiment industriel. Un élément structural (voir définition ci-après) de toiture doit présenter une résistance au feu :

- de 30 minutes – R 30 – pour un bâtiment bas (BB)
- de 60 minutes – R 60 – pour un bâtiment moyen (BM)
- de 120 minutes – R 120 – pour un bâtiment élevé (BE)
- de 15 minutes à deux heures – R 15 à R 120 – pour un bâtiment industriel.

Par "éléments structuraux", on entend les éléments de construction qui assurent la stabilité de l'ensemble ou d'une partie du bâtiment (tels que colonnes, parois portantes, poutres principales, planchers finis et autres parties essentielles constituant la structure du bâtiment) et qui, en cas d'affaissement, donnent lieu à un effondrement progressif. L'effondrement est dit progressif lorsque l'affaissement d'un élément de construction entraîne celui d'éléments du bâtiment ne se trouvant pas à proximité immédiate de l'élément considéré et que la résistance du reste de la construction est insuffisante pour supporter la charge en cause [S5]. Pour plus de détails à ce sujet, on consultera la NIT 256 [C14]. Les tôles d'acier profilées (*steeldeck*) ou les panneaux à base de bois d'une toiture avec support en bois ne sont généralement pas des éléments structuraux, tandis que les poutres les supportant le sont. Ces dernières doivent répondre aux exigences de stabilité énoncées ci-dessus.

Selon l'arrêté 'normes de base', les toitures plates ou à faible pente ( $\leq 10^\circ$ ) des bâtiments moyens et élevés

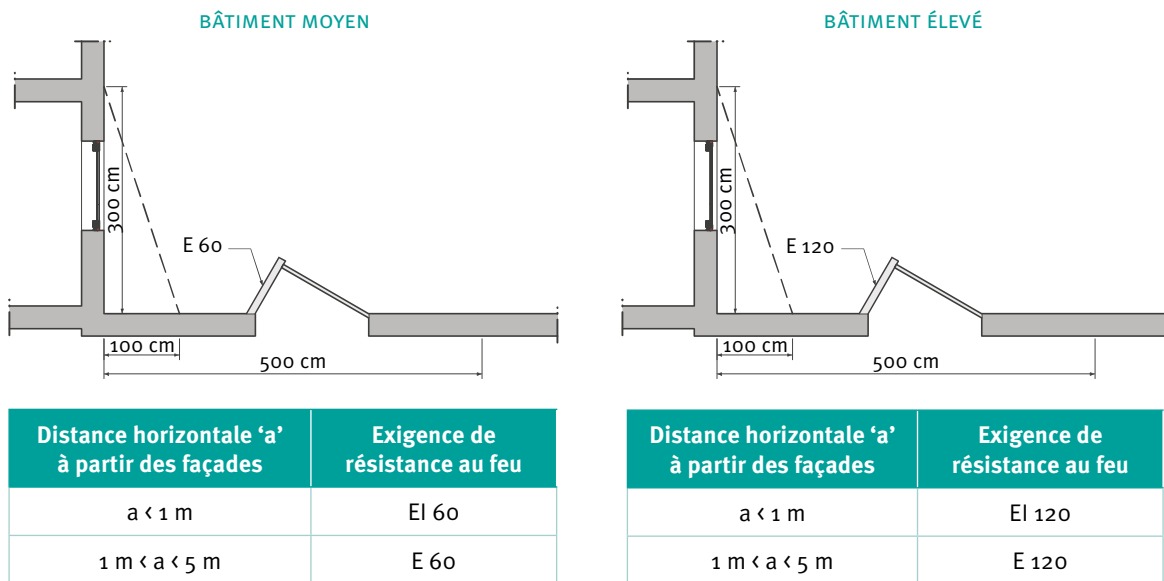


Fig. 14 Exigences de résistance au feu E et I pour les baies vitrées d'un bâtiment moyen et d'un bâtiment élevé.

doivent présenter respectivement une résistance au feu R 60 et R 120. Cette exigence ne s'applique pas si le support de toiture satisfait au critère EI 60 (BM) / EI 120 (BE) et si l'accès éventuel à l'espace sous toiture, qui doit être vide, se fait par des portes ou des trappes EI 130 (BM) / EI 160 (BE).

Dans certains cas, les toitures doivent répondre à des exigences de résistance au feu pour les critères 'E' et 'I'. Ainsi, si les façades vitrées des bâtiments moyens et élevés dominent des constructions faisant ou non partie du bâtiment (article 1.2 des annexes 2/1, 3/1 et 4/1 de l'arrêté royal précité) :

- soit les façades du bâtiment doivent satisfaire à certaines conditions
- soit les toitures de ces constructions doivent satisfaire aux conditions suivantes : EI 60 (BM) ou EI 120 (BE) sur une distance horizontale de 1 mètre depuis le pied de la façade et E 60 (BM) ou E 120 (BE) sur les 4 mètres suivants (entre 1 et 5 m par rapport à la façade) (voir figure 14). Il ne peut y avoir d'ouvertures de plus de 100 cm<sup>2</sup> (lanterneaux, exutoires de fumée, ...) dans cette partie de toiture, sauf si elles sont protégées de la façade par un élément résistant au feu (figure 14).

La résistance au feu des éléments structuraux du bâtiment est du ressort du donneur d'ordre et non de l'entrepreneur d'étanchéité.

D'autres cas particuliers nécessitent que la toiture présente une résistance au feu, notamment au droit des parois de compartiments des bâtiments industriels (cf. § 5.6 de la NIT 256) [C14].

## 2.2.2 RÉACTION AU FEU

La réaction au feu est le comportement d'un produit qui, par sa propre décomposition, alimente un feu auquel il est exposé dans des conditions spécifiées (cf. NBN EN ISO 13943 et NBN EN 13501-1) [B43, B55]. Elle caractérise la combustibilité d'un produit de construction. La classification européenne de réaction au feu distingue sept classes principales (A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B, C, D, E et F) auxquelles s'ajoutent les classes 's' pour le dégagement de fumée (s<sub>1</sub> et s<sub>2</sub> pour les revêtements de sol, et s<sub>1</sub>, s<sub>2</sub> et s<sub>3</sub> pour les autres produits de construction) et 'd' pour les gouttelettes et les particules en feu (do, d<sub>1</sub> et d<sub>2</sub> pour tous les produits, sauf les revêtements de sol).

La classe A<sub>1</sub> relative à la réaction au feu des revêtements de toiture telle que définie dans l'ancienne réglementation belge a été remplacée par une exigence portant sur le comportement d'une toiture exposée à un feu extérieur (voir § 2.2.3 ci-après). L'entrepreneur d'étanchéité ne peut donc se voir imposer des prescriptions en matière de réaction au feu, excepté dans certains cas en ce qui concerne l'isolation de la toiture.

## 2.2.3 COMPORTEMENT DU COMPLEXE VIS-À-VIS D'UN INCENDIE EXTÉRIEUR

Il s'agit ici de tester le comportement du revêtement extérieur d'un complexe de toiture exposé à des brandons enflammés. Le classement B<sub>ROOF</sub>(t<sub>1</sub>) ou F<sub>ROOF</sub>(t<sub>1</sub>) auquel conduit cette évaluation est décrit dans la

norme de classification NBN EN 13501-5 [B45] et est obtenu conformément à la norme d'essai NBN CEN/TS 1187 [B10].

L'essai réalisé sur un complexe toiture (étanchéité, isolation, support, etc.) consiste principalement à évaluer la propagation de l'incendie à la surface du toit, sous la surface et vers les couches inférieures. Les lettres 'B' et 'F' du classement signifient respectivement que le test a réussi ou échoué (ou n'a pas été effectué); l'indice 't1' indique la méthode d'essai appliquée (t1 pour test 1). Il existe trois autres méthodes (t2, t3, t4) qui ne sont pas utilisées en Belgique. Selon la réglementation en vigueur dans notre pays, les complexes de toiture doivent appartenir à la classe  $B_{ROOF}(t1)$  (pour les bâtiments auxquels s'applique l'arrêté royal). Remarquons qu'il n'y a ni hiérarchie ni possibilité de comparaison directe entre la classe  $B_{ROOF}(t1)$  et les classes  $B_{ROOF}(t2)$ ,  $B_{ROOF}(t3)$  et  $B_{ROOF}(t4)$  définies dans la norme NBN EN 13501-5 [B45], car celles-ci font référence à des essais et des critères de classification différents.

Selon l'arrêté 'normes de base', la performance d'un revêtement de toiture exposé à un feu extérieur doit être attestée par le marquage CE. A défaut d'un tel marquage ou à défaut d'informations sur le comportement au feu de l'ensemble du complexe toiture, accompagnant le marquage CE, la performance est attestée par un rapport de classement ou par les informations accompagnant une attestation d'aptitude à l'emploi et basées sur une évaluation selon le système de classification de la norme NBN EN 13501-5 [B45].

Par ailleurs, la classe  $B_{ROOF}(t1)$  concerne le complexe toiture complet et non uniquement la membrane d'étanchéité. Quant au résultat d'essai, il n'est en principe valable que pour la configuration testée. Pour limiter le nombre d'essais à réaliser, la prescription technique CEN/TS 16459 [B4] définit des règles d'extrapolation (qui remplacent celles précédemment établies par l'UBAtc). On trouvera ainsi dans les ATG des membranes d'étanchéité des fiches indiquant notamment si une application conforme aux exigences incendie est techniquement réalisable.

Certaines compositions de toiture ne requièrent pas d'essai : on considère qu'elles répondent d'office à la classe  $B_{ROOF}(t1)$ . C'est le cas des complexes destinés à être complètement recouverts par du gravier (50 mm d'épaisseur ou 80 kg/m<sup>2</sup> au minimum, granulométrie de 32 mm au maximum et de 4 mm au minimum; en pratique, le diamètre minimum s'élève généralement à 16 mm), une chape en mortier de ciment (de 30 mm

d'épaisseur au minimum), de la pierre reconstituée ou des dalles minérales d'au moins 40 mm d'épaisseur. La Décision 2000/553 de la Commission du 6 septembre 2000 [C23] reprend la liste officielle de ces matériaux.

Même si la réglementation ne le précise pas clairement, les membranes d'étanchéité des acrotères devraient présenter la classe  $B_{ROOF}(t1)$  au même titre que les parties courantes. Notons néanmoins que les essais sont en général réalisés en laboratoire sur une toiture d'une pente de 15°. Selon la norme, les résultats d'essai se limitent aux toitures de pente  $\leq 20^\circ$ . En pratique, toutefois, il est généralement fait usage de la même membrane d'étanchéité pour les acrotères que pour la partie courante, même si cette dernière n'a pas été testée pour la classe  $B_{ROOF}(t1)$  applicable aux éléments verticaux. Comme les acrotères sont le plus souvent de hauteur limitée ( $\leq 1$  m), le risque de propagation de l'incendie y est négligeable.

Pour plus d'informations concernant le comportement au feu des toitures plates, on consultera les divers documents susmentionnés ainsi que [Les Dossiers du CSTC 2014/4.6](#) [M15] et [2019/4.3](#) [M16].

En ce qui concerne le comportement au feu des toitures vertes, le lecteur trouvera des informations utiles dans [Les Dossiers du CSTC 2011/4.7](#) [M13] ainsi que dans l'arrêté royal du 12/07/2012 [S5].

## 2.2.4 RISQUES D'INCENDIE DURANT LES TRAVAUX

L'inflammabilité de certains matériaux et leur mode de mise en œuvre (soudage au chalumeau, primaires à base de solvant, réchauffement du fondoir, etc.) accroissent les risques d'incendie et d'explosion lors de l'exécution de la toiture. Des précautions particulières doivent donc être prises sur le chantier, afin de prévenir ces risques.

La sécurité incendie au cours des travaux d'étanchéité a fait l'objet d'une brochure publiée par l'Association belge des entrepreneurs d'étanchéité (ABEE) [A1]. Ce document examine les différents équipements impliquant un risque (chalumeau, flamme, bonbonne de gaz, fondoir à bitume, ...), et établit pour chacun d'eux des fiches précisant les précautions à prendre et les points nécessitant de l'attention. Y sont également abordés les fiches de sécurité des produits (MSDS), les risques d'explosion, les primaires (solvants), les vêtements, le permis de feu (cf. le Dossier technique ANPI ST 148) [A2], la manière d'éteindre un incendie, ...

## 2.3 ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

Les aspects environnementaux revêtent une importance croissante. Les principaux points à considérer concernent la sélection des matériaux (impact environnemental), la démolition, la récupération, le traitement des déchets et les possibilités de rénovation. Les règlements régionaux sont d'application en la matière.

### 2.3.1 CONSTRUCTION DURABLE ET MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION DURABLES

Construire durablement implique de prêter attention aux aspects techniques, environnementaux, économiques et sociétaux du bâtiment [J2].

Une construction ne peut toutefois être durable que si elle satisfait d'abord aux **performances techniques et fonctionnelles** attendues, et ce tout au long de sa durée de vie. Les projets de construction durable doivent en outre viser un faible impact sur l'environnement et sur la santé humaine (en limitant, par exemple, les rejets de CO<sub>2</sub> et les émissions nocives), une durabilité sociale maximale (bonnes conditions de travail lors de la production des matériaux, etc.) et une durabilité économique optimale (des matériaux abordables dont le cycle de vie génère peu de coûts, par exemple).

### 2.3.2 QUE SIGNIFIENT LCA ET EPD ?

L'**analyse du cycle de vie (ACV, ou LCA, pour *life cycle assessment*)** est utilisée pour quantifier l'impact environnemental d'un matériau, d'un élément de construction ou de tout un bâtiment. Une ACV prend en compte les diverses phases du cycle de vie : production, construction, utilisation, démolition et traitement des déchets. L'**impact environnemental** est exprimé soit par des indicateurs d'impact environnemental (changement climatique, acidification terrestre et aquatique, formation de matières particulaires et épuisement des ressources), soit par un score chiffré unique après la normalisation, la pondération et l'agrégation des résultats. Il existe des normes européennes harmonisées permettant d'évaluer l'impact environnemental des produits de construction (NBN EN 15804+A2) et des bâtiments (NBN EN 15978) [B49, B50]. Pour plus de détails en la matière, nous renvoyons à l'**Infofiche n° 64** du CSTC [J4].

Une **déclaration environnementale de produit ou EPD (*Environmental Product Declaration*)** est une fiche standardisée rassemblant des données environnementales objectives concernant un produit particulier,

basées sur une analyse de son cycle de vie. Une EPD ne constitue donc pas un jugement de valeur et peut aider les professionnels de la construction à choisir des matériaux respectueux de l'environnement. Depuis la publication de l'arrêté royal du 22 mai 2014 relatif à l'établissement d'exigences minimales pour l'application des messages environnementaux en construction [S6], tout fabricant qui souhaite apposer un message environnemental sur son produit doit rédiger une EPD et l'enregistrer dans la **base de données EPD publique belge** ([www.b-epd.be](http://www.b-epd.be)) [S6, W2]. Le consommateur peut ainsi avoir accès aux informations environnementales sous-jacentes à un produit. Cette base de données est ouverte à toutes les EPD de produits de construction qui sont conformes aux règles de calcul belges et européennes. Il existe, dans plusieurs pays européens, des bases de données EPD répertoriant des produits de construction, comme la base de référence INIES en France, les *Environmental Profiles* en Grande-Bretagne, les *Umwelt Produktdeklarationen* en Allemagne, l'*International EPD® System* en Scandinavie et la *Nationale Milieudatabase* aux Pays-Bas.

Leur objectif ne consiste pas à comparer l'impact environnemental des produits sur la base des EPD, puisque ceci ne serait possible qu'au sein d'un même système EPD et dans le cas d'une unité fonctionnelle équivalente. Ainsi, l'impact d'un kilo de produit ne peut être comparé à celui d'un mètre carré d'un produit alternatif.

Bien que les EPD soient élaborées pour des produits de construction, elles peuvent servir de base à l'évaluation environnementale d'éléments de construction ou de bâtiments entiers. L'évaluation d'un produit de construction ne se limite toutefois pas au produit même, mais tient compte également de son **application dans le bâtiment**. Ainsi, il est possible que l'utilisation de matériaux à faible impact environnemental dans un bâtiment conduise à ce que ce dernier présente de moins bonnes performances environnementales, car ils exigent des fixations supplémentaires ou davantage d'entretien au cours de la durée de vie de l'ouvrage.

Pour aider le secteur belge de la construction à évaluer et optimiser les **performances environnementales des bâtiments et des éléments de construction**, les trois Régions du pays ont mis en place l'**outil TOTEM (*Tool to Optimize the Total Environmental impact of Materials*)** ou outil pour l'optimisation de l'impact environnemental total des matériaux [W3]. Cet outil repose sur une méthodologie européenne et est accessible gratuitement à tous les professionnels de la construction disposant de connaissances de base en matière d'analyse du cycle de vie ([www.totem-building.be](http://www.totem-building.be)).

### 2.3.3 IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES TOITURES PLATES

Les Dossiers du CSTC n° 2013/3.6 [J1] et n° 2015/2.19 [J3] font état de compositions de toitures plates soumises à des ACV basées sur des données environnementales génériques (et non sur des EPD). Les résultats de ces analyses ont été mis à jour sur la base de la méthodologie belge employée dans TOTEM. Celle-ci est fondée sur les normes européennes et a remplacé la méthode Recipe utilisée dans les dossiers précités. Les résultats sont reproduits aux figures 15 à 17 qui illustrent respectivement l'impact des couches d'étanchéité (et leurs scénarios de remplacement), du support de toiture et de la consommation d'énergie.

Le tableau 7 donne un bref aperçu des méthodes et scénarios appliqués (pour plus de détails, nous renvoyons le lecteur aux articles précités).

Pour l'analyse des résultats, nous distinguons l'impact environnemental de la toiture sans remplacement (barres pleines) et l'impact environnemental supplémentaire de remplacements possibles pendant la durée de vie estimée de la toiture (barres hachurées).

#### ■ Impact environnemental de la couche d'étanchéité et de ses remplacements

Les barres pleines (sans remplacements) de la figure 15 montrent que les toitures, quel que soit le type d'étanchéité, ont des impacts environnementaux proches, compte tenu d'une marge d'erreur de 20 %, non repré-

sentative pour les ACV. Ce sont plutôt les scénarios de remplacement qui semblent avoir une influence sensible sur l'impact environnemental tout au long du cycle de vie de la toiture.

Bien que le choix de la structure porteuse et de l'isolation thermique joue un rôle important dans l'impact environnemental de la toiture (voir ci-dessous), c'est seulement lorsqu'on considère la durée de vie de l'ensemble de la toiture ainsi que les remplacements éventuels, que l'on constate de plus grandes différences d'impact environnemental entre les toitures. En effet, si un ou plusieurs remplacements de l'étanchéité s'avèrent nécessaires pendant la durée de vie envisagée, un impact environnemental supplémentaire est à prendre en compte. Cet impact supplémentaire est très dépendant du scénario de remplacement choisi. Dans le cas d'une étanchéité collée, par exemple, l'impact du remplacement pourrait, selon le scénario retenu, correspondre à l'impact de l'étanchéité remplacée auquel il faut ajouter celui lié au changement de la couche d'isolation sous-jacente. L'impact du remplacement dépend alors fortement de la fréquence de remplacement et du scénario de remplacement choisi.

La **fréquence de remplacement** est déterminée par la durée de vie supposée de la toiture et du matériau étudié. Pour les ACV de bâtiments résidentiels, on considère généralement une durée de 60 ans. Une période plus courte peut éventuellement être envisagée pour les bâtiments industriels et les immeubles de bureaux. Par contre, il n'est pas aisé de déterminer la durée de vie de l'étanchéité, vu l'absence de données claires et de méthode normalisée. Les informations reprises dans

(suite du texte en p. 26)

Tableau 7 Approche des ACV réalisées sur les toitures plates [J1, J3].

<b>Unité fonctionnelle</b>	1 m <sup>2</sup> d'une toiture plate non accessible d'une portée de 6 m et d'une valeur U de 0,20 W/m <sup>2</sup> K (figures 15 et 16) et de 0,24 W/m <sup>2</sup> .K ou 0,15 W/m <sup>2</sup> . K (figure 17)
<b>Période d'évaluation</b>	60 ans
<b>Limites du système</b>	Analyse "du berceau à la tombe" ( <i>cradle-to-grave</i> ) : production, transport, installation sur chantier, utilisation (remplacements, consommation d'énergie de chauffage, ...), démolition, transport et traitement des déchets
<b>Base de données et scénarios</b>	Base de données générique Ecoinvent v3.7 ( <a href="http://www.ecoinvent.ch">www.ecoinvent.ch</a> ) adaptée au contexte belge. Scénarios de transport et de fin de vie représentatifs de la situation belge (année 2017)
<b>Utilisation d'énergie pour le chauffage</b>	Due aux déperditions à travers l'élément : – méthode des degrés-jours équivalents (1200 degrés-jours équivalents) – système de chauffage équipé d'une chaudière à condensation au gaz, rendement global de l'installation de 68 %
<b>Méthode d'analyse de l'impact environnemental</b>	NBN EN 15804+A2 [B49] : différents indicateurs d'impact environnemental Normalisation et pondération EF3.0 11/2019 : score unique (en points). La méthode de pondération EF que l'on retrouve dans l'outil d'ACV belge TOTEM permet de calculer l'impact sur 16 indicateurs environnementaux individuels et d'agréger les résultats en un seul chiffre (exprimé en points). Plus les points sont élevés, plus l'impact est important.
<b>Date des analyses</b>	2021

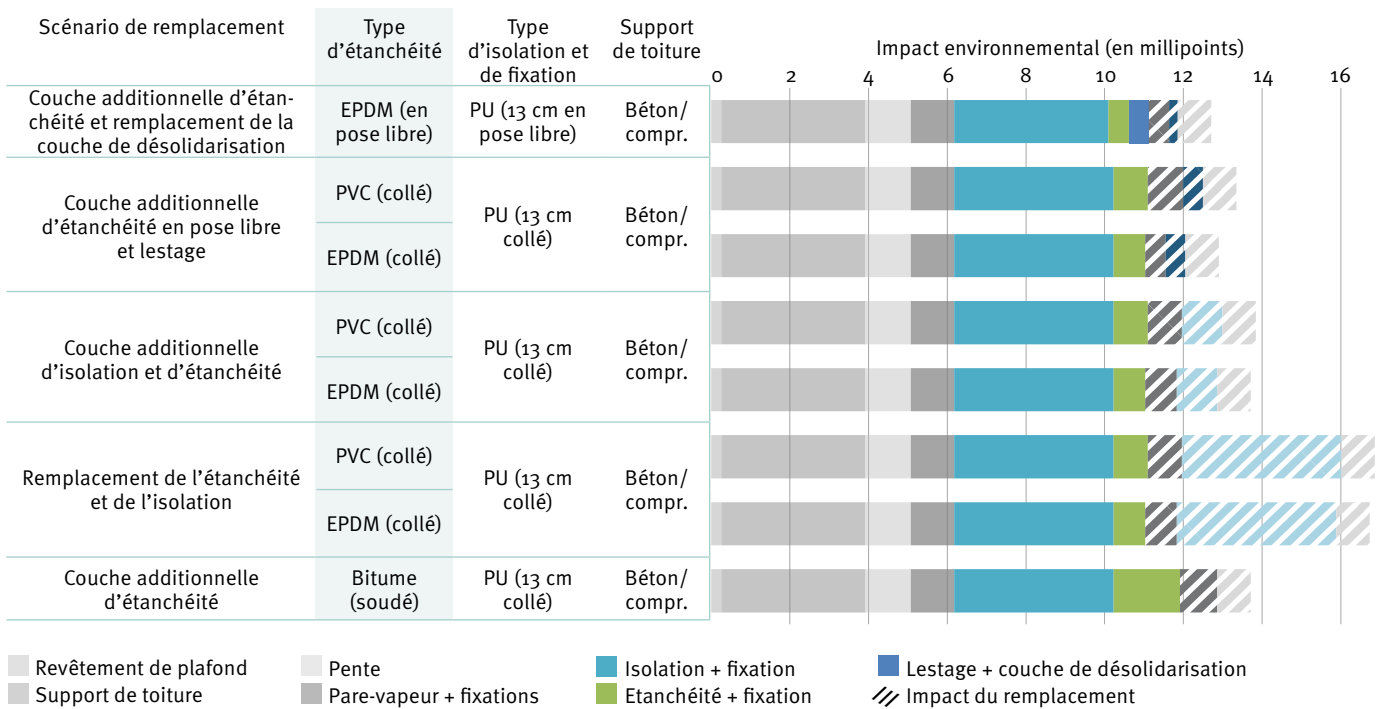


Fig. 15 Impact environnemental de 1 m<sup>2</sup> de diverses compositions de toitures plates sur la période de référence de 60 ans – Mise en évidence des couches d'étanchéité et des scénarios de remplacement (méthode MMG2014, décembre 2017).

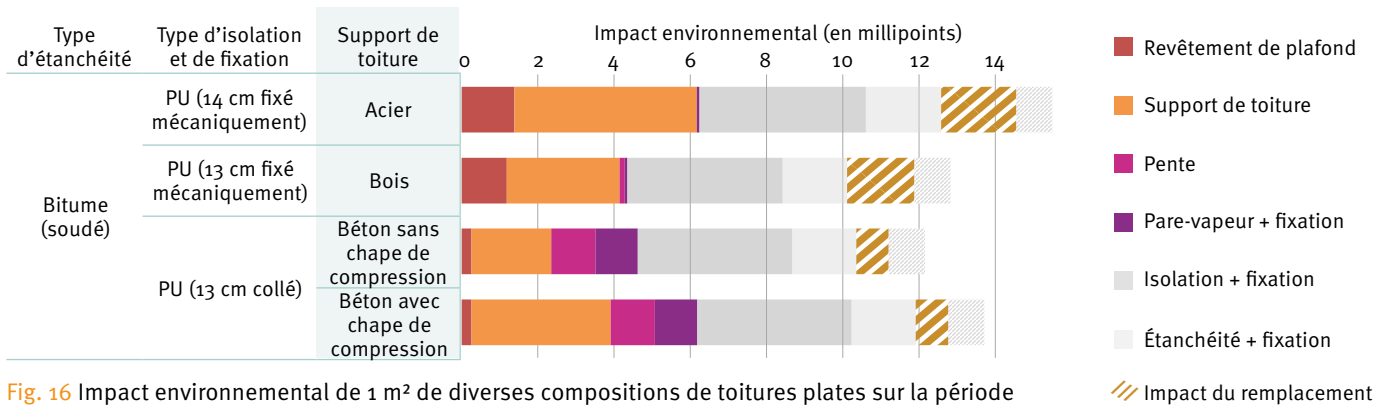


Fig. 16 Impact environnemental de 1 m<sup>2</sup> de diverses compositions de toitures plates sur la période de référence de 60 ans – Mise en évidence du support (méthode MMG2014, décembre 2017).

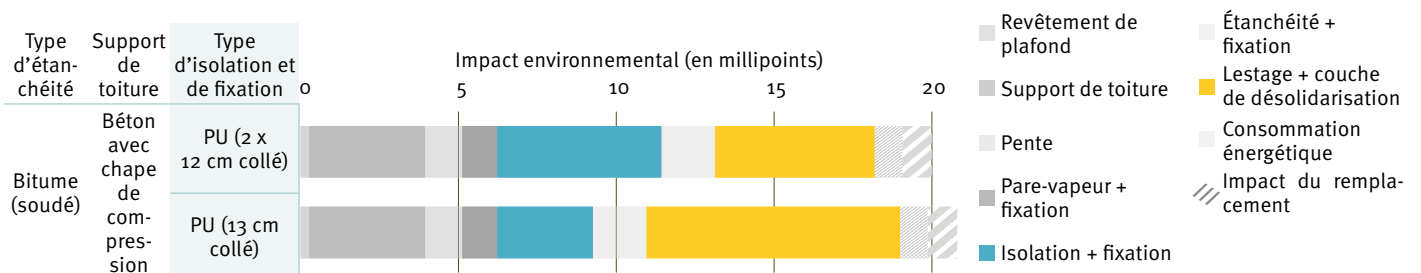


Fig. 17 Impact environnemental de 1 m<sup>2</sup> de diverses compositions de toitures plates sur la période de référence de 60 ans – Mise en évidence de la valeur d'isolation (consommation d'énergie) (méthode MMG2014, décembre 2017).

(suite de la p. 24)

les documents de référence belges et étrangers font apparaître une **grande dispersion des résultats**, la durée de vie variant entre 14 et 50 ans pour chacune des étanchéités considérées [B2, B3, S10, W4]. Ces durées correspondent d'ailleurs à celles déclarées par les fabricants. En pratique, la durée de vie est évidemment fonction de la localisation du bâtiment, du système de toiture plate, de facteurs atmosphériques, de la qualité de l'exécution et de l'entretien de l'étanchéité, ainsi que de la facilité avec laquelle l'entretien et les réparations peuvent être effectués. Rappelons qu'un entretien régulier est indispensable pour garantir la tenue dans le temps de l'étanchéité (voir chapitre 11, p. 131).

#### ■ Impact environnemental du support de toiture

Le choix du support de toiture a des répercussions directes sur la sélection des produits pouvant être mis en œuvre de part et d'autre de ce support. Les produits adjacents doivent être compatibles avec les spécificités de la structure retenue. Par conséquent, même si l'impact environnemental de la structure peut varier de façon significative en fonction de son type, il est nécessaire d'analyser cet impact simultanément avec celui des couches adjacentes spécifiques qui influencent aussi l'impact total de la toiture. Dans la figure 16 (p. 25), par exemple, l'impact environnemental du **support en béton** sans chape de compression est inférieur à celui du **support en bois**. Cependant, cette différence d'impact est compensée par l'impact environnemental du revêtement de plafond, de la pente et du pare-vapeur propres à chacun de ces deux supports.

La composition incluant un **support en acier** présente l'impact le plus élevé des solutions étudiées, principalement en raison de l'impact plus important des composants en acier, mais aussi de par celui de la finition intérieure éventuelle, plus élevé pour un support en acier que pour d'autres supports. L'absence de finition intérieure (situation la plus fréquente dans les constructions industrielles et les immeubles de bureaux) peut cependant en atténuer l'effet.

#### ■ Impact environnemental de la consommation d'énergie de chauffage

Une bonne isolation de la toiture est, elle aussi, favorable à l'environnement : la figure 17 (p. 25) montre que l'impact négatif résultant d'une épaisseur d'isolation accrue est largement compensé par la réduction de la consommation d'énergie de chauffage pendant la durée d'utilisation de la toiture.

### 2.3.4 UTILISATION DURABLE DES MATÉRIAUX

Outre l'impact environnemental des matériaux, d'autres aspects jouent un rôle dans l'évaluation de la durabilité des toitures plates : consommation d'énergie réduite et confort thermique accru par l'isolation complémentaire de la toiture, gestion améliorée de l'eau et de la biodiversité en présence d'une toiture verte, diminution de l'effet d'îlot de chaleur dans le cas d'une membrane d'étanchéité blanche ou réfléchissante ou d'une toiture verte, production d'énergie verte via des panneaux solaires, ...

Les principes généraux d'**utilisation raisonnée, de réutilisation et de recyclage des matériaux** ont également leur importance dans le contexte de l'utilisation durable des ressources et d'une économie circulaire. L'assemblage intelligent des matériaux et éléments de construction ainsi que l'exploitation judicieuse des bâtiments sont la clé de cette approche. Pour les toitures plates en particulier, la pose libre (avec lestage) ou la fixation mécanique des différentes couches (étanchéité, isolation, pare-vapeur) s'inscrivent pleinement dans la démarche de la construction démontable et flexible.

### 2.3.5 RÉCUPÉRATION DE L'EAU DE PLUIE

L'eau est une ressource précieuse qu'il convient d'utiliser de manière rationnelle. Près de 50 % de l'eau consommée par un ménage est destinée à la lessive, au nettoyage et au rinçage des toilettes. Pour ces applications, l'eau de pluie peut remplacer l'eau potable, sachant que les 80 m<sup>3</sup> d'eau de pluie disponibles chaque année sur une toiture de 100 m<sup>2</sup> peuvent suffire à ces usages.

Pour encourager l'utilisation de l'eau de pluie, certaines communes ou Régions octroient des primes ou ont édicté des réglementations. L'eau de pluie ne peut être utilisée qu'à des fins non sanitaires et jamais en cuisine ou en salle de bain; son réseau de distribution doit en outre être tout à fait distinct du circuit d'eau potable. Les aspects liés à la récupération et à la réutilisation de l'eau de pluie (filtration, citerne, système de distribution, qualité de l'eau récupérée, ...) seront traités dans une prochaine Note d'information technique.

La qualité de l'eau récupérée peut varier en fonction des matériaux avec lesquels elle entre en contact. Cette différence de qualité peut être due à un phénomène de lixiviation soit de produits entrant dans la fabrication de la membrane ou se formant dans la membrane par vieillissement, soit de dépôts formés

sur la membrane. Dans le cas d'une toiture verte, on constate souvent une contamination de l'eau s'écoulant au travers du substrat [D1].

Parmi les problèmes liés à la qualité de l'eau de pluie récupérée, on relève [C21] :

- la **mauvaise odeur** : au bout de quelques années, souvent après une période de forte chaleur et de faible consommation de l'eau de pluie (vacances, par exemple) et/ou lorsque la citerne est presque vide, la multiplication des bactéries peut provoquer un dégagement d'odeur. Une autre cause possible réside dans un excès de pollen ou d'excréments (de pigeons, par exemple). Le traitement consiste à nettoyer, rincer et désinfecter la cuve ainsi que les conduites et les dispositifs alimentés avec cette eau
- une **coloration brun jaune** : celle-ci peut apparaître en présence d'une toiture verte, à la suite de la dissolution de certains composants du substrat (la collecte d'eau sur une toiture verte est toutefois rare, puisque les quantités disponibles y sont plus limitées). On peut également l'observer dans le cas de toitures classiques dont les matériaux se dégradent sous l'action des rayons UV; des substances peuvent alors être relarguées et emportées par l'eau. La coloration varie en fonction des matériaux et des périodes; elle est plus marquée après de longues périodes ensoleillées sans pluie. Pour prévenir le phénomène, il est possible de protéger les matériaux (paillettes d'ardoise, *coating*, ...) ou d'utiliser un filtre à charbon actif
- les **dépôts boueux** brun blanc dans les chasses d'eau et les conduites de distribution : ces résidus se forment lorsque l'eau provient d'une toiture lestée de granulats dont les très fines particules sont

entraînées par la pluie et se déposent dans la cuve. Outre l'aspect inesthétique, ils peuvent perturber le fonctionnement de l'installation. Pour y remédier, il convient de remplacer le lestage par des granulats bien rincés, ne comportant pas de pierres calcaires (qui risquent de s'éroder au contact des pluies acides) ou de ne pas utiliser le système de récupération d'eau avant un laps de temps suffisamment long (environ un an) (voir également § 9.2.1, p. 116).

Notons que l'eau de récupération n'est actuellement soumise à aucune exigence réglementaire.

## 2.4 PERFORMANCES ACOUSTIQUES

La performance acoustique et les exigences éventuelles en la matière doivent être prises en compte dès le stade de la conception et faire l'objet d'une étude spécialisée par un ingénieur acousticien.

La performance d'isolation acoustique globale d'une paroi se quantifie en décibels (dB). Elle dépend en premier lieu de la masse surfacique de la paroi (plus celle-ci est élevée, meilleure sera l'isolation aux bruits aériens), mais aussi des jonctions entre les différents composants : un système 'masse-ressort-masse' intégrant des raccords souples assure une meilleure isolation aux bruits aériens et aux bruits de contact. La performance acoustique de la toiture joue un rôle non négligeable dans la performance acoustique globale de l'enveloppe du bâtiment.

La figure 18 montre par exemple qu'une toiture légère (~40 kg/m<sup>2</sup>; support en bois ou en tôles d'acier profi-

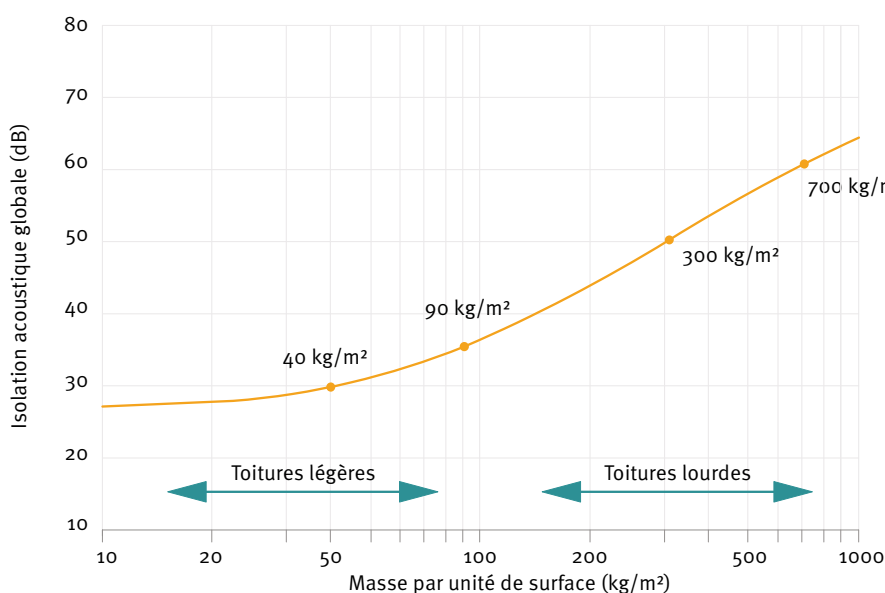


Fig. 18 Isolation aux bruits aériens en fonction de la masse surfacique : relation empirique dans le cas de parois simples.

lées) est dotée de performances acoustiques nettement moins bonnes qu'une toiture lourde (~300 kg/m<sup>2</sup>; support en béton), la première présentant une isolation acoustique globale de 30 dB et la seconde de 50 dB. Pour ce type de structure "lourde", l'isolation aux bruits extérieurs est donc généralement suffisante. En revanche, une chambre, un salon ou tout local sensible au bruit situé sous une structure de toiture légère peut nécessiter des mesures complémentaires d'amélioration de l'isolation phonique, pour assurer une protection adéquate contre le bruit extérieur si son niveau le justifie.

En ce qui concerne les bâtiments résidentiels ou scolaires, on applique les critères d'isolation acoustique des façades fixés dans les normes NBN S 01-400-1 [B57] et NBN S 01-400-2 [B58] respectivement. Pour les autres types de bâtiments, il y a lieu de respecter les catégories d'isolation des façades définies dans la norme NBN S 01-400 [B56].

Pour améliorer l'isolation des toitures plates légères tant vis-à-vis des bruits aériens (trafic, par exemple) que vis-à-vis des bruits d'impact de la pluie, les mêmes recommandations peuvent être formulées que

dans le cas des toitures à versants traditionnelles à pannes ou à fermettes (voir la [NIT 240](#) et la [NIT 251](#)) [C9, C11]. Le manque de masse par rapport à une structure de toiture lourde peut en effet être largement compensé sur le plan acoustique en concevant la toiture selon un système masse-ressort-masse. Dans ce contexte, il est nécessaire de veiller à ce que la finition intérieure soit séparée autant que possible du support de toiture (connexion moins rigide pour créer un système masse-ressort-masse), d'augmenter éventuellement la masse des couches d'extrémité (par exemple, en doublant les panneaux à l'intérieur), voire d'alourdir la structure en la combinant à une toiture verte ou un lestage (si le support le permet, ce qui serait plutôt exceptionnel dans le cas d'une toiture légère).

Cette dernière mesure serait également intéressante pour atténuer les bruits d'impact de la pluie. Il existe en outre des produits spécifiques (membranes, panneaux, ...) permettant une amélioration acoustique sensible des toitures plates légères.

Pour plus d'informations sur l'isolation acoustique des toitures, nous renvoyons le lecteur intéressé aux [Dossiers du CSTC 2010/2.5](#) [1].

# 3

## COMPOSITIONS DE TOITURE

La présente Note d'information technique traite au § 3.1 de deux types de compositions classiques (éprouvées) qui se distinguent par l'emplacement de l'isolant par rapport à l'étanchéité et au support de toiture, à savoir :

- la toiture chaude (isolation entre l'étanchéité et le support) (§ 3.1.1)
- la toiture inversée (isolation sur l'étanchéité) (§ 3.1.2, p. 30).

Au § 3.2 (p. 32) sont décrites les compositions inacceptables d'un point de vue technique. Il s'agit :

- des toitures dont l'isolation est située sous le support (§ 3.2.1, p. 32)
- des toitures froides (§ 3.2.2, p. 33)
- des toitures dont l'isolation se situe sous la forme de pente (§ 3.2.3, p. 34).

Enfin, quatre compositions nécessitant une attention particulière sont décrites au § 3.3, à savoir :

- les toitures dont l'isolation se situe sur et sous le support (§ 3.3.1, p. 35)
- les toitures dites compactes (§ 3.3.2, p. 36)
- les toitures dont la forme de pente est constituée d'un mortier isolant à base de ciment et de panneaux d'isolation intégrés (§ 3.3.3, p. 37)
- les toitures des chambres frigorifiques (§ 3.3.4, p. 38).

### 3.1 COMPOSITIONS CLASSIQUES (ÉPROUVÉES)

#### 3.1.1 TOITURE CHAUDE

Solution la plus courante, la toiture chaude consiste à poser l'isolation sur le support sans prévoir de lame d'air entre les différentes couches. L'étanchéité est mise en œuvre sur l'isolation, avec ou sans couche de désolidarisation, et peut être lestée (figure 19). Le support de toiture doit le plus souvent être revêtu au préalable d'un pare-vapeur (chapitre 6, p. 55).

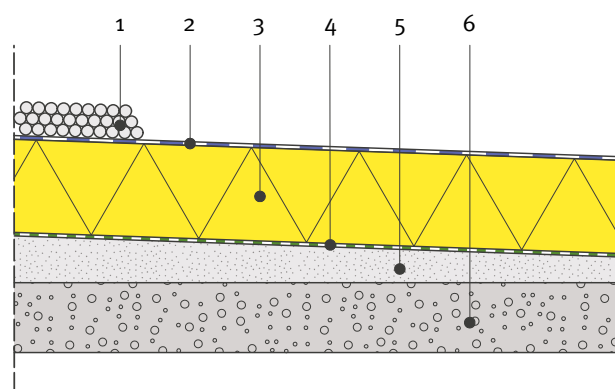
Par toiture chaude, on entend également les complexes munis d'une forme de pente composée de panneaux d'isolation enrobés d'un mortier constitué de

granulats isolants et de ciment. Ces systèmes requièrent une attention particulière sur certains points que nous abordons au § 3.3.3 (p. 37).

Les toitures dont le support est constitué d'éléments en béton cellulaire, par exemple, de panneaux sandwichs de faible épaisseur, etc., qui combinent les fonctions de support et d'isolation, nécessitent souvent une isolation complémentaire. On se référera dans ce cas au § 3.2.1 (p. 32), étant donné que l'isolation thermique est répartie sur et sous (dans) le support.

La figure 20 et le tableau 8 (p. 30) font apparaître les différences d'évolution de température entre une toiture chaude non isolée (150 mm de béton) et une toiture chaude isolée (valeur  $U \approx 0,24$ ).

Dans une toiture chaude, l'isolation protège le support des fortes variations de température, limitant ainsi le risque de mouvement et de fissuration dans le support et dans les murs; la sollicitation thermique de l'étanchéité est toutefois considérable sur les toitures non lestées (figure 20 A et B, p. 30, pour un support en béton et en bois respectivement).



1. Lestage éventuel
2. Étanchéité
3. Isolation
4. Pare-vapeur éventuel
5. Forme de pente
6. Support de toiture

Fig. 19 Toiture chaude.

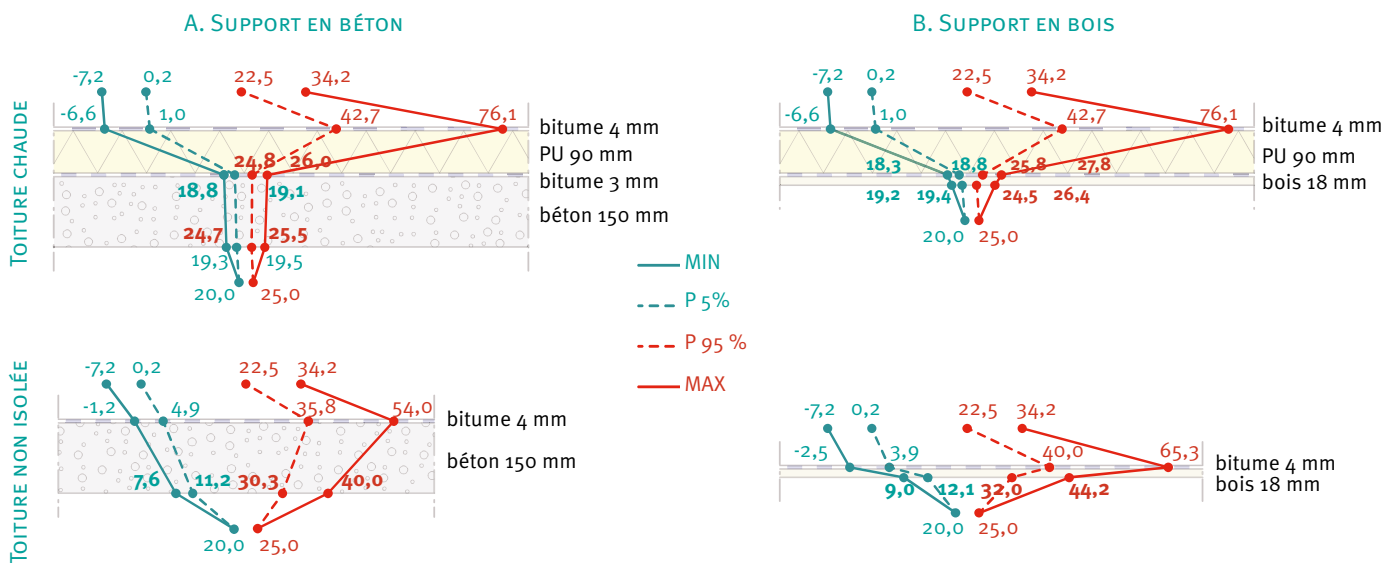


Fig. 20 Températures extrêmes sur une toiture non isolée et une toiture chaude munies d'un support en béton ou en bois.

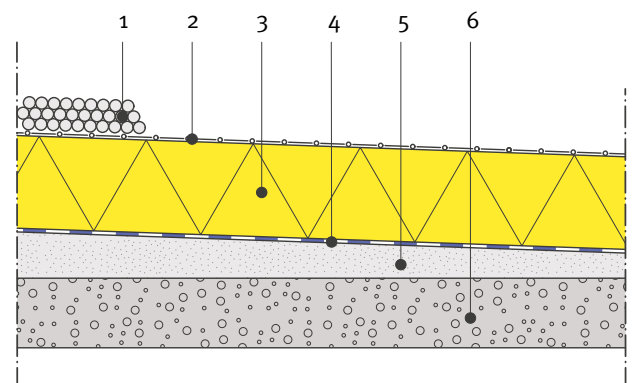
Tableau 8 Températures des toitures plates (ordre de grandeur).

Température	Toiture non isolée	Toiture chaude isolée	Influence de l'isolation
De l'étanchéité	-3 à 65 °C	-7 à 76 °C	Augmentation de la sollicitation thermique de l'étanchéité
À la surface du support de toiture	-3 à 65 °C	18 à 28 °C	Forte baisse des fluctuations de température dans le support de toiture
À la face interne du support de toiture	8 à 44 °C	19 à 26 °C	Confort thermique accru et limitation de la condensation superficielle

### 3.1.2 TOITURE INVERSÉE

Dans le cas d'une toiture inversée, l'étanchéité est posée librement ou collée/fixée sur le support de toiture et l'isolation est posée librement sur l'étanchéité (figure 21). L'isolation est composée de plaques de polystyrène extrudé (XPS) lestées au moyen de gravier ou de dalles (éventuellement sur plots). Le XPS convient pour ce type d'application, car il absorbe peu l'humidité lorsqu'il est exposé directement à l'eau de pluie s'écoulant sous et entre les plaques, à condition toutefois que celles-ci ne soient pas constamment sous eau.

Plus encore que sur une toiture chaude, la pente de la toiture et des gouttières doit être suffisante (2 % au minimum) pour permettre une évacuation rapide de l'eau, limiter les déperditions de chaleur causées par l'écoulement de l'eau et prévenir les risques de condensation dans l'isolant. En ce qui concerne ce dernier aspect, il est important que les couches situées au-dessus de l'isolation soient perméables à la vapeur



1. Lestage
2. Filtre
3. Isolation de toiture
4. Étanchéité
5. Forme de pente
6. Support de toiture

Fig. 21 Toiture inversée.

d'eau; il est donc impossible de superposer plusieurs couches d'isolation.

Le poids du lestage doit être suffisant pour prévenir le soulèvement et le flottement des panneaux d'isolation (chapitre 9, p. 115). Le lestage protège en outre les panneaux contre les rayons UV. Il convient d'accorder une attention particulière aux supports de toiture perméables à l'air et/ou aux étanchéités posées en indépendance, car l'effet du vent est dans ces cas beaucoup plus important (chapitre 2, p. 9).

Il existe des panneaux de polystyrène extrudé recouverts en usine d'une mince couche de mortier, qui exerce la fonction de lestage et permet une protection vis-à-vis des rayons UV (notamment au niveau des relevés). Ce lestage n'est toutefois pas toujours suffisant et doit être complété – conformément aux prescriptions de l'attestation d'aptitude à l'emploi en vigueur – par un lestage supplémentaire au droit des zones de toiture fortement exposées au vent.

L'eau qui s'infiltré sous l'isolant (pluie, eau résultant de la fonte de neige ou de glace) entraîne des déperditions calorifiques dont il convient de tenir compte lorsqu'on définit l'épaisseur de l'isolation<sup>(9)</sup>. Notons que la majeure partie de l'eau de pluie s'écoule au-dessus de la couche d'isolation et seule une petite partie s'infiltré par-dessous, d'autant plus que l'isolation est toujours lestée et que la pression du lestage limite la proportion d'eau qui ruisselle au-dessous.

Il faut en outre s'assurer que la structure de toiture sous l'étanchéité ait une résistance et/ou une capacité thermique suffisantes pour éviter toute condensation superficielle. Des problèmes de condensation

peuvent survenir dans les locaux appartenant à la classe de climat intérieur IV (voir chapitre 6, p. 56). Le comportement hygrothermique de la toiture doit dans ce cas faire l'objet d'une étude distincte, car il peut être nécessaire d'opter pour une autre composition. De même, une étude spécialisée est nécessaire en cas d'application au-dessus d'une chambre froide ou d'un local de congélation (risque de condensation et de formation de glace sur l'étanchéité). Aucune référence n'est toutefois actuellement connue sur ce plan.

La toiture inversée ne nécessite pas de pare-vapeur, puisque l'étanchéité remplit ce rôle.

Un avantage de la toiture inversée est qu'elle est rapidement mise hors d'eau, la pose de l'isolation pouvant être réalisée ultérieurement. Un autre avantage réside dans la possibilité de réutiliser l'isolation, que l'on peut parfois reposer sur la toiture après avoir remplacé l'étanchéité.

La figure 22 montre les températures extrêmes pouvant être atteintes sur une toiture inversée. Le support et l'étanchéité sont protégés contre les variations de température (sur une toiture chaude, l'étanchéité n'est pas protégée, voir figure 19, p. 29), contre les chocs thermiques et les autres actions climatiques (rayonnement UV, par exemple)<sup>(10)</sup>. Cela ne signifie pas pour autant que des économies doivent se faire au détriment de la qualité de l'étanchéité; celle-ci est en effet soumise plus longtemps que dans une toiture chaude à un taux d'humidité élevé qui, combiné à une température constante, peut entraîner le développement de microorganismes. De surcroît, les réparations (localisation de fuites, par exemple) et les rénovations s'avèrent coûteuses.

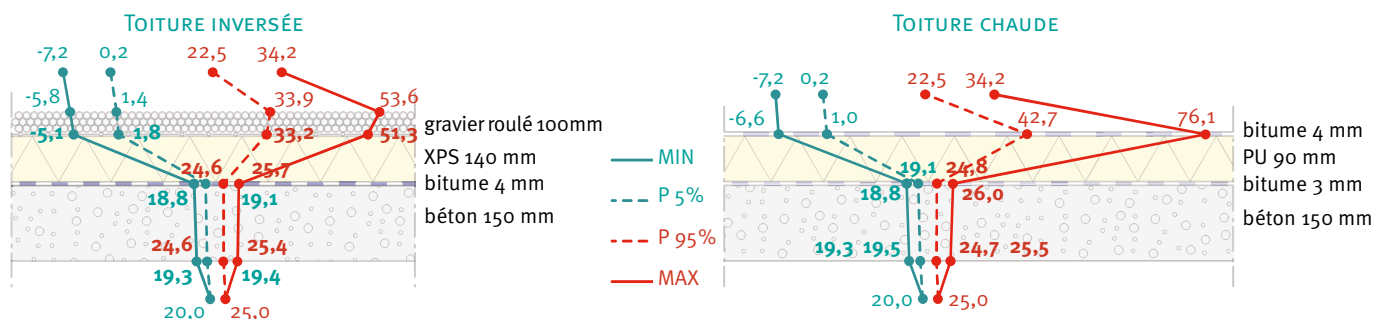
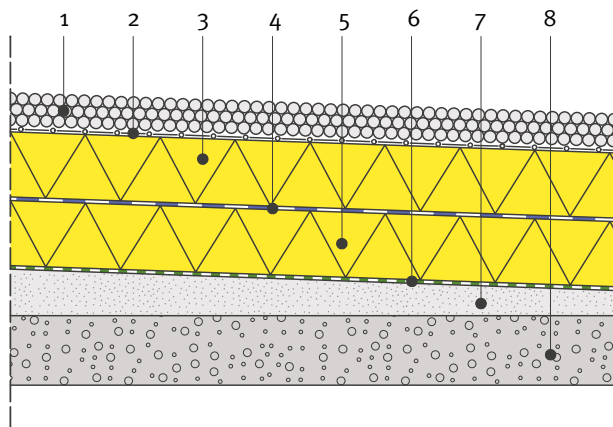


Fig. 22 Températures extrêmes sur une toiture inversée (et une toiture chaude à titre de comparaison).

<sup>(9)</sup> Pour le calcul des déperditions, voir l'annexe D de la NBN EN ISO 6946 [B52], le § 7.4.5.2 de la NBN B 62-002 [B8] ainsi que le chapitre 7 de la présente NIT (p. 67).

<sup>(10)</sup> Les relevés doivent faire l'objet d'une attention toute particulière, car ils sont le plus souvent exposés aux rayons UV.



1. Lestage
2. Filtre
3. Isolation
4. Étanchéité
5. Isolation
6. Pare-vapeur
7. Forme de pente
8. Support de toiture

Fig. 23 Toiture 'duo'.

On peut limiter les déperditions thermiques causées par la percolation de l'eau entre et sous les panneaux d'isolation, en réalisant une toiture dite duo qui combine les avantages de la toiture chaude et de la toiture inversée : une partie de l'isolation se trouve sous l'étanchéité, l'autre au-dessus de celle-ci (figure 23). Ce type de toiture doit faire l'objet d'un contrôle

hygrothermique (pose éventuelle d'un écran pare-vapeur).

Une couche filtrante (géotextile) est prévue entre l'isolation et le lestage afin d'éviter la percolation d'éléments fins.

Dans le cas d'une étanchéité en PVC, la compatibilité doit être vérifiée (une couche de désolidarisation est parfois nécessaire).

Depuis quelques années, il est possible de réduire les déperditions thermiques en interposant une membrane de type pare-pluie (non-tissé imperméable) entre l'isolation et le lestage. La réduction des déperditions (cf. § 7.1.1.3, p. 68) peut être quantifiée à l'aide d'un essai décrit dans l'annexe C du Guide d'agrément technique européen ETAG 031 [E4]. Il est conseillé de disposer d'une attestation d'aptitude à l'emploi du produit. Ce système permet une superposition des couches d'isolation qui n'est pas autorisée autrement.

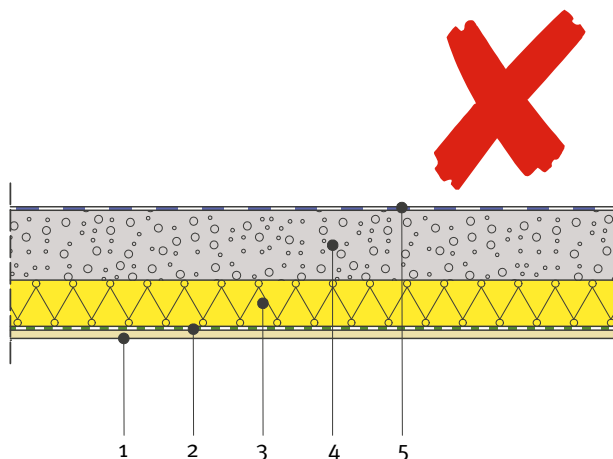
### 3.2 COMPOSITIONS DE TOITURE TECHNIQUEMENT INACCEPTABLES

Certaines toitures jadis régulièrement mises en œuvre présentent une composition inadéquate du point de vue de la physique du bâtiment et sont donc techniquement inacceptables. Les toitures neuves réalisées selon les principes décrits ci-après sont considérées comme des compositions incorrectes.

#### 3.2.1 ISOLATION SOUS LE SUPPORT

Dans cette configuration, l'isolation se trouve à la face inférieure du support de toiture (figure 24). De ce fait, le pare-vapeur doit être appliqué du côté intérieur de la toiture, sous l'isolation thermique. On perd donc l'avantage essentiel des toitures plates : pouvoir appliquer le pare-vapeur sur un support continu. Il est dès lors difficile d'éviter la condensation interne, car :

- en pratique, il est quasi impossible de réaliser un pare-vapeur parfait
- la fonctionnalité du pare-vapeur peut difficilement être garantie après sa mise en œuvre (risque d'endommagement ultérieur par l'utilisateur)
- en été, dans les bâtiments neufs, l'humidité de construction pénètre dans le matériau d'isolation du fait de la condensation ("condensation inversée").



1. Finition intérieure
2. Pare-vapeur
3. Isolation
4. Support de toiture
5. Étanchéité

Fig. 24 Isolation sous le support de toiture (à déconseiller).

■ Pour les supports en béton, cette condensation interne peut contribuer à provoquer la corrosion des armatures (béton cellulaire et armatures insuffisamment protégées). De plus, le support est soumis à de

fortes variations de température (figure 25) qui risquent d'engendrer des fissures, par exemple dans le mur porteur au droit de l'appui du support (figure 26). Il est également difficile d'assurer la continuité de l'isolation et d'éviter les ponts thermiques. Enfin, le support perd son inertie thermique.

- Pour les supports en bois, on risque d'inclure de l'humidité de construction entre deux couches étanches.

Cette composition de toiture est donc techniquement inacceptable. De même, il convient de se méfier des faux plafonds fortement isolés, qui nécessitent une étude hygrothermique spécifique.

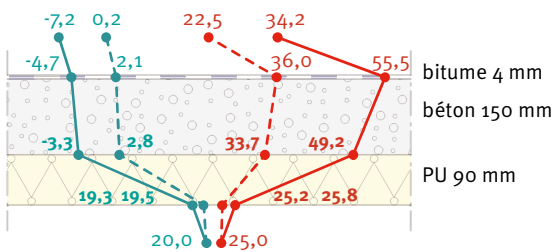


Fig. 25 Températures extrêmes sur une toiture munie d'une isolation sous le support.

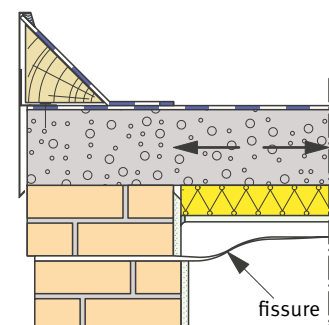
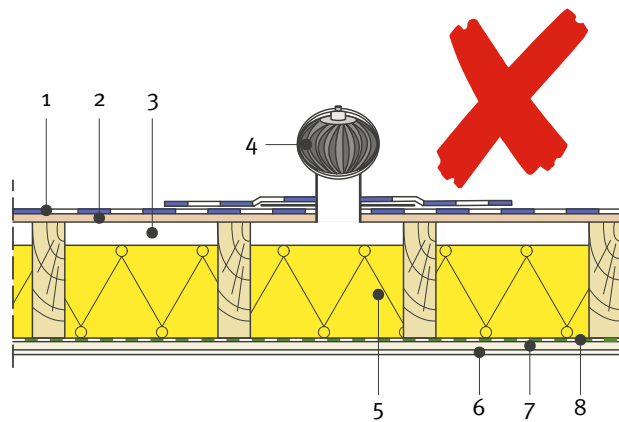


Fig. 26 Fissuration due à la dilatation thermique du support de toiture isolé par le dessus.

### 3.2.2 TOITURE FROIDE

La toiture dite froide est une configuration appliquée autrefois, dans laquelle l'isolation se trouve sous le support de l'étanchéité, les deux couches étant séparées par un espace ventilé par de l'air extérieur (figure 27). Cette ventilation avait pour but de sécher l'humidité (de construction) enfermée dans la structure ou celle résultant de la condensation interne. Cette dernière était due aux éventuelles fuites d'air et de vapeur quasiment inévitables, étant donné la difficulté de mettre en œuvre le pare-vapeur (souvent absent) sous la toiture et donc d'assurer sa continuité et son maintien dans le temps (voir § 3.2.1, p. 32).



1. Étanchéité
2. Support de toiture
3. Lamelle d'air ventilée
4. Conduit de ventilation
5. Isolation
6. Finition intérieure
7. Lattage
8. Pare-vapeur éventuel

Fig. 27 Toiture froide (techniquement inacceptable).

La technique s'est toutefois révélée inefficace pour plusieurs raisons :

- la ventilation n'est jamais suffisante pour permettre le séchage du complexe toiture
- le support d'étanchéité est parfois beaucoup plus froid que l'air extérieur de ventilation, si bien que le danger de condensation par 'surrefroidissement' sous la membrane d'étanchéité est réel
- la condensation interne se produit pendant les périodes les plus froides de l'année. L'air froid ne pouvant contenir que peu d'humidité, son pouvoir séchant est donc faible
- la ventilation avec de l'air extérieur crée des sous-pressions dans le complexe de toiture (effet "cheminée"), aspirant l'air intérieur chaud (humide) qui pénétrera par les interstices du pare-vapeur et se condensera dans la toiture



Fig. 28 Toiture froide endommagée par le pourrissement du support.

- même si l'on supprime la ventilation en obturant les ouvertures, il subsiste une couche d'air au-dessus de l'isolation thermique, où la circulation ne peut être exclue (perforations éventuelles du pare-vapeur, fuites d'air via les relevés, les façades, ...).

La condensation peut entraîner de multiples dégâts : pourriture des planchers (figure 28), détérioration de l'isolation (dont l'efficacité se voit réduite à néant), gel des matériaux, dégradation des matériaux agglomérés, développement de moisissures, etc. Cette

configuration déconseillée par le CSTC depuis 1978 est techniquement inacceptable en construction neuve.

En cas de rénovation, il est vivement conseillé de transformer ce type de complexe en toiture chaude ou en toiture inversée (cf. § 3.3.1, et chapitre 10, p. 123).

Une variante de la toiture froide légère décrite ci-dessus est la toiture froide lourde. Le support en béton y est recouvert (dans de rares cas) d'un pare-vapeur, sur lequel repose une structure portante en bois ou en maçonnerie, surmontée d'un support d'étanchéité en pente constitué de hourdis ou de bois. Un espace ventilé est ainsi créé, dans lequel se trouve l'isolation. L'étanchéité surmonte l'ensemble (figure 29). Bien qu'il semble moins problématique qu'avec un support en bois, ce système est également inacceptable d'un point de vue technique, plusieurs dégâts étant survenus dans le passé; vu les fortes variations de température auxquelles il est soumis, le support d'étanchéité peut se fissurer ou se dégrader à la suite du gel, et les ponts thermiques sont difficiles à éviter.

### 3.2.3 BÉTON DE PENTE SUR L'ISOLATION

Dans cette configuration, l'isolation se situe entre le support de toiture et le béton de pente (figure 30). Ce système est techniquement inacceptable, car il entraîne inévitablement la rétention de l'humidité de construction et l'humidification de l'isolation. Tout comme dans le cas décrit au § 3.3.2 (p. 36), des mouvements thermiques importants peuvent occasionner la fissuration du béton de pente et de l'étanchéité (figure 31).

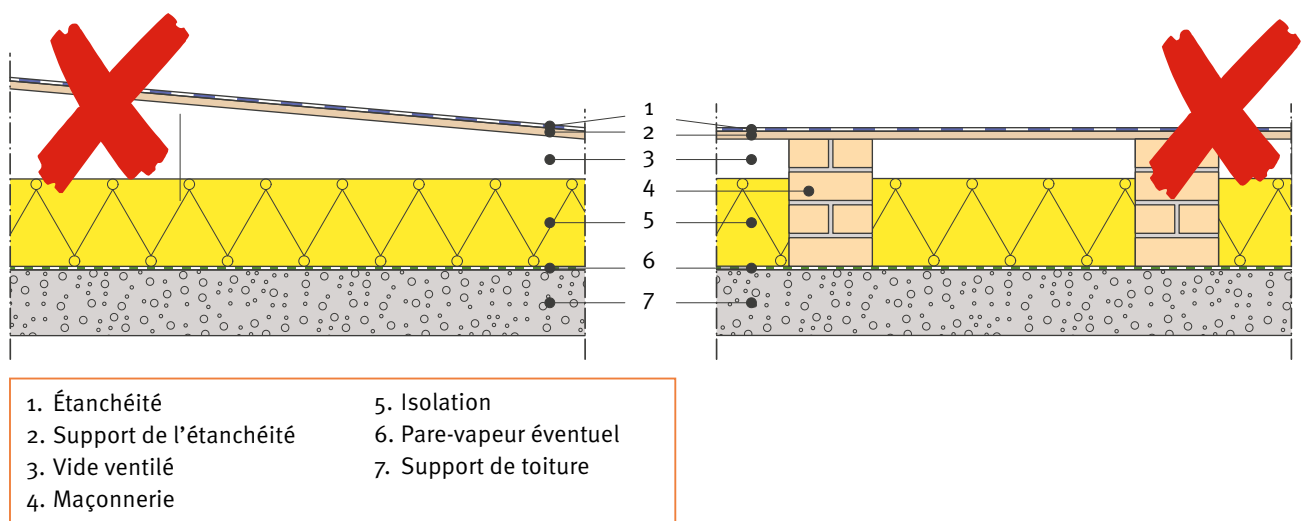
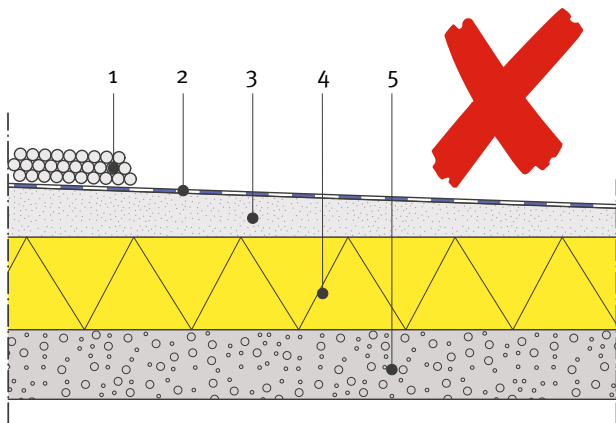
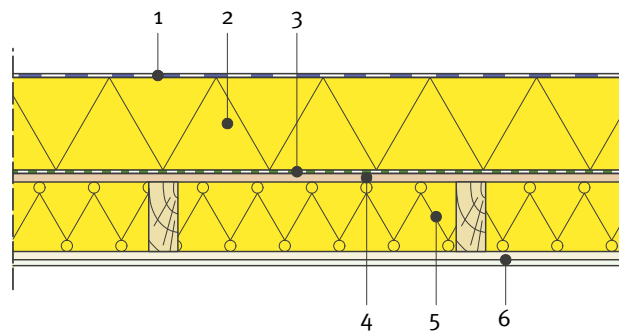


Fig. 29 Toiture froide lourde (techniquement inacceptable).



1. Lestage
2. Étanchéité
3. Forme de pente
4. Isolation
5. Plancher de toiture

Fig. 30 Isolation sous le béton de pente (techniquement inacceptable).



1. Étanchéité
2. Isolation (résistance thermique  $\geq 1,5 R$ )
3. Pare-vapeur
4. Support en bois
5. Isolation (résistance thermique  $R$ )
6. Finition intérieure

Fig. 32 Isolation thermique sur et sous le support de toiture (résistance thermique  $R_{\text{couche supérieure}} \geq 1,5 \times R_{\text{couche inférieure}}$ ).

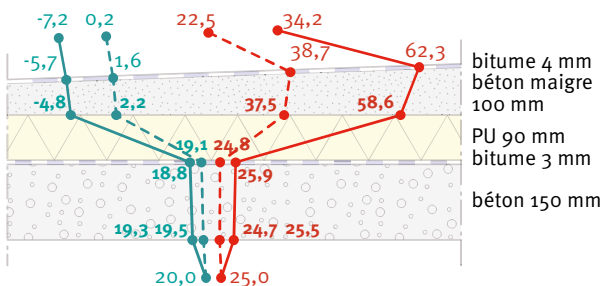


Fig. 31 Températures extrêmes sur une toiture dont l'isolation est située sous le béton de pente.

En cas de rénovation, il est conseillé de convertir ce complexe en toiture chaude ou en toiture inversée sur l'étanchéité existante.

### 3.3 COMPOSITIONS DE TOITURE NÉCESSITANT UNE ATTENTION PARTICULIÈRE

#### 3.3.1 ISOLATION THERMIQUE SUR ET SOUS LE SUPPORT [M5]

Alors qu'il est déconseillé de placer l'isolation thermique uniquement sous le support de toiture (voir § 3.2.1, p. 32), il est possible, lors de travaux de rénovation ou d'une optimisation acoustique, d'opter pour la pose d'une isolation thermique tant au-dessus qu'en dessous du support de toiture (figure 32), à condition de prendre certaines précautions.

Le pare-vapeur devrait théoriquement être placé sous l'isolation, c'est-à-dire sous le support de toiture. Toutefois, comme expliqué au § 3.2.1 (p.32), on perd l'avantage de pouvoir poser le pare-vapeur sur un support continu. Cette exécution est en outre très difficile et n'offre aucune garantie quant à la performance du pare-vapeur et à sa durabilité dans le temps.

Il convient par conséquent de placer l'écran pare-vapeur au-dessus du support de toiture, c'est-à-dire entre les deux couches d'isolation dans le cas présent. Pour une telle configuration, l'isolation disposée sous le support provoque une chute de température au niveau de l'écran pare-vapeur. Pour éviter la formation de condensation au droit de ce dernier, il faut veiller à ce que la résistance thermique (valeur R) de la couche d'isolation placée au-dessus du support de toiture soit supérieure à celle de la couche inférieure. Le risque de condensation interne est en principe insignifiant si la résistance thermique de la couche d'isolation placée au-dessus du support est au moins 1,5 fois supérieure à celle de la couche située en dessous de celui-ci et si la classe de climat intérieur est inférieure ou égale à III. Comme la résistance thermique (valeur R) se calcule en divisant l'épaisseur de l'isolant par sa conductivité thermique (valeur  $\lambda$ ), il est dès lors recommandé de choisir, pour la couche d'isolation supérieure, un matériau d'une épaisseur supérieure et/ou d'une valeur  $\lambda$  inférieure (voir la figure 32).

Dans l'éventualité où le facteur 1,5 ne peut être respecté, il est possible de contrôler le risque de condensation à l'aide d'une simulation (calcul selon la méthode de Glaser ou simulation numérique, par exemple).

Notons enfin que l'inclusion de couches d'air dans un complexe de toiture plate doit être évitée. Celles-ci peuvent en effet donner lieu à des flux d'air qui diminuent les performances de l'isolation thermique et augmentent le risque de condensation.

### 3.3.2 TOITURE DITE COMPACTE

Depuis le début du siècle, on a vu apparaître une nouvelle composition pour les toitures plates munies d'un support en bois : la toiture dite compacte <sup>(11)</sup>. Dans cette configuration, l'isolation est placée entre l'étanchéité à l'air / 'freine-vapeur' (voir plus loin) et le support de l'étanchéité, c'est-à-dire entre les poutres constituant la structure portante (cf. figure 33). Cette manière de procéder ressemble à celle des anciennes toitures froides (techniquement inacceptables, voir § 3.2.2, p. 33), mais le fait que l'espace entre les poutres soit entièrement comblé par l'isolant thermique et non ventilé par de l'air extérieur supprime une grande partie des inconvénients de la toiture froide.

Ce système présente l'avantage de faciliter la réalisation de la continuité de l'étanchéité à l'air entre la toiture et les murs dans le cas d'un support en bois. Il subsiste néanmoins la difficulté liée à l'exécution du pare-vapeur. La toiture compacte est décrite en détail dans [Les Dossiers du CSTC 2012/2.6 \[M12\]](#), dont les points principaux sont résumés ci-après.

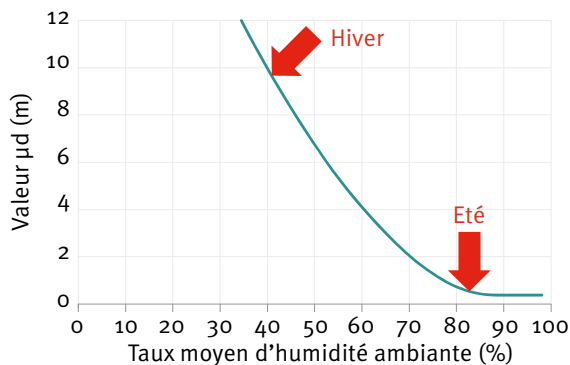


Fig. 34 Toiture 'compacte' – Flux de vapeur en hiver et en été.

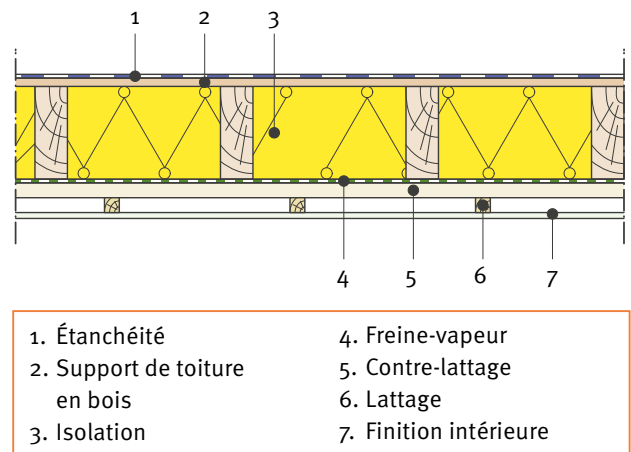
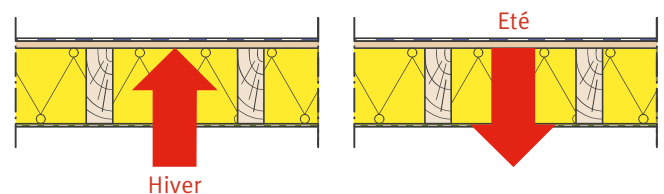


Fig. 33 Toiture dite compacte.

Comme exposé au § 3.2.1 (p. 32), la présence de l'isolation sous le support de toiture entraîne un risque important de condensation interne. De plus, dans une toiture compacte, la rétention de l'humidité de construction peut rapidement poser problème, d'autant plus si le support en bois est soumis aux intempéries durant un certain temps. Le taux d'humidité des boiseries peut en outre être relativement élevé si celles-ci sont posées peu après le traitement éventuel de préservation du bois.

Pour permettre le séchage de l'humidité de construction ou de la condensation interne, les promoteurs de ce système proposent d'utiliser des 'freine-vapeur' hygrovariables, c'est-à-dire des pare-vapeur dont la résistance à la diffusion de vapeur  $\mu_d$  varie en fonction du taux d'humidité relative régnant de part et d'autre de la membrane (plus ce taux est élevé, plus la résistance à la diffusion de vapeur sera faible et donc plus le matériau y sera perméable) : si les conditions sont respectées, ils devraient donc permettre un certain séchage en été et limiter l'humidification en hiver (cf. figure 34). S'il s'agit d'un pare-vapeur traditionnel, on



(11) À ne pas confondre avec le terme de 'toiture compacte' utilisé par un fabricant d'isolation en verre cellulaire pour désigner une structure de toiture chaude entièrement recouverte de bitume chaud.

### La toiture compacte en bref

- Une toiture compacte est très sensible à l'inclusion d'humidité de construction et au risque de condensation interne. De nombreuses conditions doivent être remplies pendant et après les travaux pour réaliser une toiture performante. Pour des raisons techniques liées à l'exécution, il n'est pas toujours possible d'y satisfaire en pratique; il se peut que certaines conditions ne puissent plus être respectées en raison de modifications apportées par le propriétaire ou d'un changement de destination du bâtiment.
- Par ailleurs, la performance du complexe toiture dépend entièrement de celle du freine-vapeur hygrovariable. Afin de pouvoir établir clairement les possibilités et les limites de la toiture compacte, il conviendrait de demander une attestation d'aptitude à l'emploi (un agrément technique, par exemple). Pour ce faire, il est nécessaire de définir les exigences, les conditions d'application, le climat ainsi que les matériaux à utiliser par le biais d'une étude préalable.
- Tant la conception que la réalisation d'une telle toiture requièrent une compétence, une approche et une expérience spécifiques. Une généralisation de la toiture compacte est par conséquent déconseillée et une toiture chaude ou inversée (ou 'duo', combinaison des deux précitées) semble encore jusqu'à présent offrir une meilleure garantie contre les problèmes d'humidité.

se retrouve dans le cas décrit au § 3.2.1 (solution inacceptable, voir p. 32).

Les recommandations techniques applicables à la toiture 'compacte' nécessitent de remplir un certain nombre de conditions pour assurer le bon fonctionnement des principes susmentionnés. D'une part, on tentera de limiter le taux d'humidité dans la toiture grâce aux précautions suivantes :

- classe de climat intérieur III ou moins
- isolant et freine-vapeur posés immédiatement l'un après l'autre durant une période dans laquelle l'humidité relative de l'air ne dépasse pas 75 %
- support de toiture sec (maximum 18 % pour le bois massif), ce qui implique notamment la pose rapide de l'étanchéité
- qualité de la mise en œuvre de l'étanchéité à l'air ou du freine-vapeur contrôlée par un essai de pressurisation.

D'autre part, le séchage du complexe toiture doit être favorisé et non entravé. On prendra pour ce faire les mesures suivantes :

- choisir un matériau isolant fibreux perméable à la vapeur
- favoriser le réchauffement de l'étanchéité par le soleil pour permettre le séchage en été (enseulement sur toute la surface de la toiture, membrane foncée, pas de toiture verte ni de panneaux solaires, ...)
- ne pas placer de finitions intérieures étanches à la vapeur (pas de panneaux OSB ou multiplex)
- veiller à ce que la pente de toiture soit d'au moins

2 % après déformation (pour limiter la stagnation d'eau).

Les conditions spécifiques concernant la pose du freine-vapeur, la condensation interne, le fonctionnement du pare-vapeur hygrovariable, l'humidité de construction et la modification de la destination du bâtiment sont précisées dans l'article précité.

### 3.3.3 FORME DE PENTE CONSTITUÉE D'UN MORTIER ISOLANT ET DE PANNEAUX D'ISOLATION INTÉGRÉS

Cette variante de la toiture chaude décrite au § 5.2.6 (p. 52) nécessite une attention particulière, car le système renferme de l'humidité de construction. S'il est appliqué directement sur le support en béton, le séchage peut s'effectuer vers l'intérieur; si un pare-vapeur est nécessaire, ou en cas de rénovation, cette humidité nécessitera un temps de séchage important pour ne pas être emprisonnée dans la structure.

Des conditions de pose strictes doivent être réunies pour limiter l'apport d'humidité et pour s'assurer des performances du système (performances thermiques, adhérence suffisante de la couche supérieure de mortier, absence de dégâts par le gel-dégel, cohésion superficielle suffisante, ...).

Lorsqu'on opte pour ce système, il est conseillé d'en consulter la documentation technique et l'attestation d'aptitude à l'emploi.

### 3.3.4 TOITURE D'UNE CHAMBRE FRIGORIFIQUE

Notons d'abord qu'il existe deux types de chambres frigorifiques :

- la chambre positive (réfrigérateur) : température positive, généralement 3 °C et 90 % HR
- la chambre négative (congélateur) : température négative, généralement -20 °C, parfois plus froid jusqu'à des températures inférieures à -30 °C.

Dans le cas de ces locaux, l'air extérieur sera la plupart du temps plus chaud que l'air intérieur et pourra dès lors contenir plus d'humidité (la pression de vapeur sera donc plus élevée). Le transfert de vapeur se fera de haut en bas et non de bas en haut comme c'est le cas pour les bâtiments classiques chauffés durant les périodes plus froides. Le pare-vapeur se trouve par conséquent toujours au niveau de l'étanchéité, au-dessus de l'isolation, du côté extérieur du bâtiment (figure 35). Un calcul hygrométrique spécialisé est recommandé.

Ajoutons que la réalisation de telles toitures est rare et seulement assurée par quelques entreprises spécialisées, étant donné la particularité de la composition, des détails et des raccordements. Il existe par ailleurs des systèmes préfabriqués (*box in box*) pouvant être insérés dans le bâtiment, qui n'ont aucune influence sur la composition de toiture. Ces systèmes sont à conseiller.

Une composition de toiture chaude est recommandée, car le risque de condensation serait trop important dans le cas d'une toiture inversée. Les différences par rapport à une toiture classique et les points requérant de l'attention sont abordés ci-après.

- Le risque de condensation du côté froid (intérieur) est considérable, en particulier en été lorsque la différence de pression de vapeur entre l'extérieur

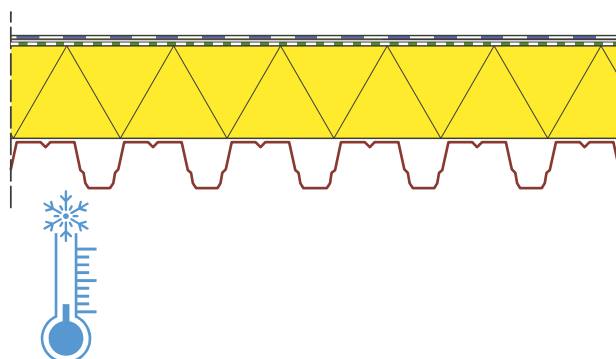


Fig. 35 Toiture d'une chambre frigorifique.

et l'intérieur est élevée. L'étanchéité se trouve du côté chaud de la toiture. Elle doit soit posséder une résistance intrinsèque suffisante à la diffusion de vapeur d'eau (membrane bitumineuse, par exemple), soit être complétée par un pare-vapeur.

- Des simulations ont été effectuées au CSTC sur une toiture plate constituée de tôles d'acier profilées, d'une isolation PU de 16 cm en chambre positive à 6 °C ou de 30 cm en chambre négative à -18 °C, et d'une membrane d'étanchéité bitumineuse ou en PVC. Elles ont montré qu'une condensation se produit la plupart du temps, en quantités toutefois très faibles, mais qu'elle sèche très difficilement étant donné le très faible pouvoir séchant de l'air intérieur (froid et humide). À des températures  $\leq 0$  °C, de la condensation se forme toujours entre l'isolant et les tôles d'acier. Comme on peut craindre une dégradation de l'isolant par l'humidité et le gel, le matériau isolant doit être choisi en conséquence. À des températures  $> 0$  °C, de la condensation se forme en période chaude entre l'isolant et les tôles d'acier, mais migre ensuite en période froide vers l'étanchéité (inversion du flux de vapeur).
- Pour éviter la condensation, le système d'étanchéité devrait présenter une valeur  $\mu_d$  de 4000 m pour une température intérieure de -18 °C et de 1000 m pour une température intérieure de 6 °C. Ces caractéristiques peuvent être atteintes avec un pare-vapeur armé d'une feuille métallique (ALU3).
- On peut toutefois imaginer que, la quantité d'eau condensée étant très faible, celle-ci soit acceptable, à condition que l'isolant soit résistant au gel et qu'un dégivrage soit effectué régulièrement.
- L'épaisseur d'isolation sera généralement supérieure à celle d'une toiture chaude classique.
- Un grand soin doit être apporté à la continuité de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe, en particulier pour les supports en acier, où elle est plus difficile à réaliser entre la toiture et les façades : une fuite d'air vers l'intérieur de la chambre froide entraînerait la formation de condensation se transformant en glace (figure 36).
- L'étanchéité sera réalisée, elle aussi, de façon très minutieuse; en cas de fuite, l'eau qui s'infiltrerait se transformerait en glace et s'accumulerait dans le complexe toiture, ce qui peut entraîner de graves conséquences sur la stabilité. Par sécurité, une étanchéité bicouche est à conseiller.

- Les références connues comportent un support en tôles d'acier profilées; un béton est en principe possible, mais aucune référence n'est connue.



Fig. 36 Condensation en glace due à une fuite d'air dans une chambre frigorifique.



# 4

## SUPPORTS DE TOITURE (1<sup>2</sup>)

### 4.1 TYPES DE SUPPORTS

Le support de toiture sur lequel sont posés le pare-vapeur, l'isolation et l'étanchéité doit être choisi en fonction du rôle assigné à la toiture (uniquement accessible pour l'entretien, terrasse, parking, ...) ainsi que d'autres caractéristiques telles que le comportement à la déformation, la sécurité au feu, l'étanchéité à l'air ou le comportement hygrothermique.

Le support de toiture peut être composé :

- de dalles monolithiques en béton (coulé en place)
- d'éléments préfabriqués en béton ordinaire, en terre cuite ou en béton léger, rendus monolithiques par un béton de seconde phase et/ou une forme de pente (hourdis, planchers nervurés, prédalles, poutrelles et entrevous, ...)
- de dalles mixtes en acier-béton (tôles d'acier nervurées utilisées initialement comme coffrage permanent, collaborant structurellement avec le béton durci pour agir comme armatures de traction dans le plancher fini)
- d'éléments préfabriqués en béton ordinaire sans béton de seconde phase ou en béton léger (hourdis, planchers nervurés, ...)
- de solives qui supportent des voliges en bois ou des panneaux en matières végétales ou en fibres organiques ou minérales assemblées au moyen d'un liant (OSB, contreplaqué, fibres-ciment, CLT, copeaux de bois agglomérés au ciment et armés, ...)
- de tôles profilées en acier
- de panneaux de toiture composites munis d'un noyau d'isolation thermique (panneaux sandwichs ou autre).

Ces différents types de supports, présentés au § 4.2.2 (p. 45), sont décrits en détail dans les [Notes d'information technique n° 223, n° 236 et n° 239](#) [C5, C7, C8]. Ils peuvent présenter une pente ou non. Dans le second cas, il convient de prévoir une forme de pente (voir chapitre 5, p. 49). La pente peut également être réalisée dans la couche d'isolation (chapitre 7, p. 67).

### 4.2 RECOMMANDATIONS

Pour assurer le bon comportement de la toiture, il convient de veiller à l'état de siccité du support, à sa planéité, sa rugosité, sa cohésion et, si nécessaire, son étanchéité à l'air.

On trouvera ci-après quelques données ou recommandations ainsi que des critères qualitatifs concernant différentes structures porteuses avec ou sans pente. Ces recommandations s'appliquent, le cas échéant, à la forme de pente recouvrant le support. Le terme "support" désigne ici la surface du support de toiture ou de la forme de pente sur laquelle l'entrepreneur d'étanchéité commence son travail.

#### 4.2.1 PROPRIÉTÉS DU SUPPORT

##### 4.2.1.1 État de siccité

La surface du support doit être sèche à l'air pour permettre les travaux sur la toiture et assurer une bonne adhérence entre les diverses couches le cas échéant (éviter les boursouffures sous l'écran pare-vapeur, par exemple). Il convient de tenir compte, dans la composition de la toiture, du fait qu'un support peut contenir une quantité importante d'humidité de construction, surtout s'il s'agit de béton coulé en place ou d'une forme de pente à base de ciment.

Par 'surface sèche à l'air', on entend une surface exempte de toute humidité apparente telle de l'eau stagnante. L'humidité résultant d'une averse peut être séchée, par exemple, au brûleur, après élimination des flaques éventuelles.

Ce qui peut être considéré comme support suffisamment sec à l'air fait souvent l'objet de discussions, mais ce sera toujours l'entrepreneur d'étanchéité qui, sur la base de son expérience, prendra la décision d'accepter ou non le support sur lequel il doit travailler.

(1<sup>2</sup>) On emploie aussi couramment le terme 'plancher'.

À titre indicatif :

- pour être considéré comme sec à l'air, un **support à base de ciment** ne peut reprendre une teinte foncée après s'être éclairci à la suite d'un séchage forcé (au chalumeau, par exemple). Si le complexe est posé en indépendance ou fixé mécaniquement, ce critère ne s'applique pas, mais le béton doit être visuellement sec
- pour des **panneaux en bois ou à base de bois**, il convient de consulter la documentation technique du fabricant. En général, on recommande une teneur en eau massique de 14 à 15 % maximum.

#### 4.2.1.2 Planéité et irrégularités du support

Le support sur lequel les travaux seront effectués (support de toiture ou forme de pente) doit être suffisamment plan et exempt d'irrégularités importantes, afin de permettre une pose correcte du pare-vapeur ou de l'étanchéité et de l'isolation. La planéité requise dépend du type de membrane ou d'isolation à mettre en œuvre et de la technique de pose.

En ce qui concerne la pose du pare-vapeur et, le cas échéant, de l'étanchéité, les irrégularités du support doivent être limitées pour éviter les dégâts. Si elles ne constituent pas un obstacle pour poser le pare-vapeur, elles peuvent néanmoins compromettre la mise en œuvre des panneaux d'isolation qui peuvent s'en trouver déséquilibrés ('balancement' des panneaux). La fixation mécanique ou l'utilisation d'une colle moussante permet de reprendre des écarts dans le support légèrement plus grands qu'une couche adhésive plus mince comme une colle liquide, par exemple. Lorsque l'isolation est posée en adhérence, la planéité du support devra en outre permettre d'assurer la bonne adhérence entre les deux éléments.

Il appartient à l'entrepreneur d'étanchéité de déterminer si les irrégularités du support (support de toiture ou forme de pente) sont compatibles avec une exécution correcte des travaux. Les critères du tableau 9 peuvent servir de référence en ce qui concerne les exigences minimales à satisfaire.

##### 4.2.1.2.1 Planéité sous la règle de 2 mètres

La planéité est mesurée au moyen d'une règle de 2 mètres de longueur, munie à ses extrémités de taquets fixes dont l'épaisseur est égale à la tolérance autorisée, et d'un taquet mobile d'une épaisseur équivalant au double de celle des taquets fixes. On admet en général un écart de planéité de 10 à 12 mm maximum ('a' au tableau 9 et à la figure 37), sauf pour le verre cellulaire.

La planéité peut se contrôler comme indiqué à la figure 38. On dispose la règle munie de ses deux taquets sur la surface à contrôler :

- **cas 1** : un taquet et un point de la règle touchent le support, tandis que le second taquet ne le touche pas. La planéité n'est pas dans les tolérances
- **cas 2** : les deux taquets touchent le support, tandis que la règle ne le touche pas; le taquet mobile ne passe pas sous la règle. La planéité se situe dans les tolérances
- **cas 3** : les deux taquets touchent le support, tandis que la règle ne le touche pas; le taquet mobile passe sous la règle. La planéité ne se situe pas dans les tolérances.

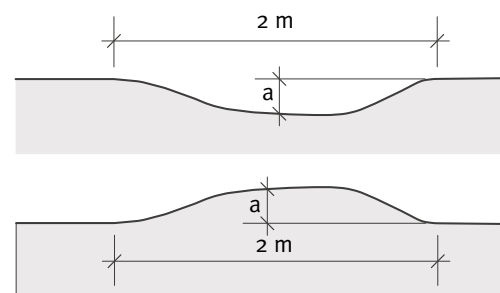


Fig. 37 Planéité du support sous la règle de 2 mètres.

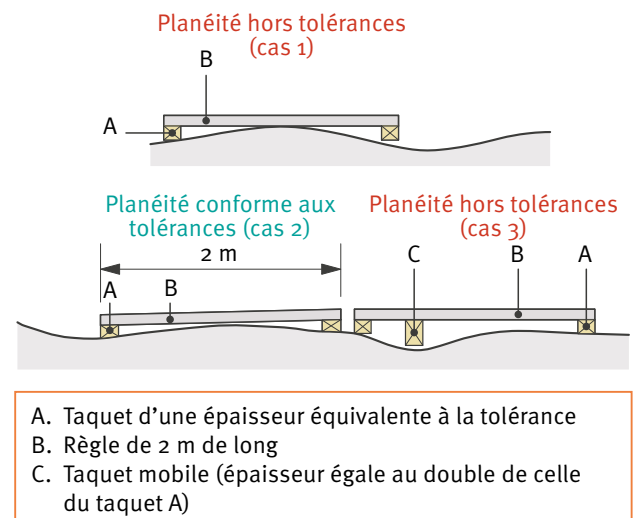


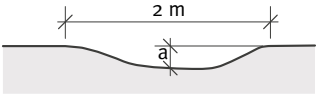
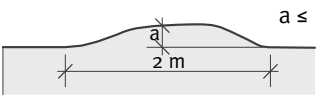
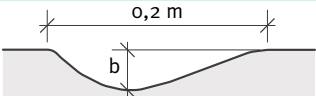
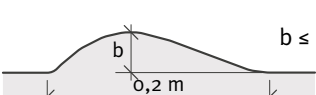

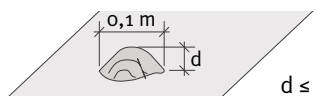
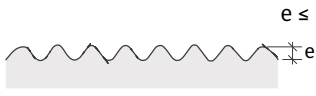
Fig. 38 Examen de la planéité d'un support.

##### 4.2.1.2.2 Planéité sous la règle de 0,2 mètre

Les écarts de planéité locale doivent être limités à 2 à 5 mm selon le cas et sont mesurés avec une règle de 0,2 m (cf. "b" dans les schémas du tableau 9 et à la figure 39).

La planéité peut se contrôler conformément à la procédure décrite ci-avant.

Tableau 9 Valeurs de référence pour les tolérances sur le support.

Caractéristique	Soudage ou pose en indépendance d'un pare-vapeur ou d'une étanchéité bitumineuse	Collage à froid ou au bitume chaud d'un pare-vapeur ou d'une étanchéité bitumineuse	Pose d'un pare-vapeur ou d'une étanchéité synthétique	Application d'une étanchéité liquide	Pose de l'isolation <sup>(1)</sup>		
					CG	MW/ EPS/ EPB/ PU	
Planéité		10 mm	12 mm	10 mm	10 mm	5 mm	10 mm
							
Planéité		2 mm	5 mm	2 mm	4 mm	3 mm/0,6m	5 mm
							
Inégalités		D <sup>(2)</sup>	5 mm V50/16 : 2 mm	1 mm	1,5 mm	3 mm	5 mm
							
Rugosité		0,25 D <sup>(2)</sup> (soudage) 2 mm (pose en indépendance)	5 mm V50/16 : 2 mm	1 mm	1,5 mm	3 mm	5 mm

(1) La signification des abréviations est fournie à l'annexe 4 (p. 149).  
 (2) D est l'épaisseur de la masse bitumineuse située sous l'armature.

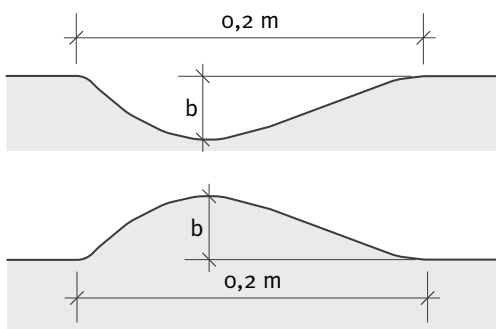


Fig. 39 Planéité du support sous la règle de 0,2 mètre.

4.2.1.2.3 Désaffleurements

Le désaffleurement doit être limité à 1,5 à 5 mm selon le cas (cf. "c" et "d" dans les schémas du tableau 9 et à la figure 40).

Les désaffleurements sont mesurés sur une distance de 0,1 m à l'aide d'un profilomètre à aiguilles.

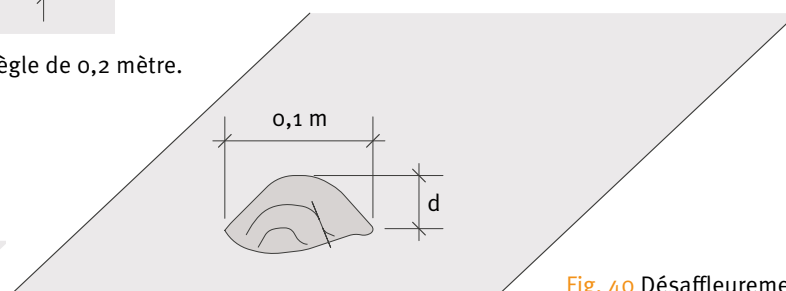
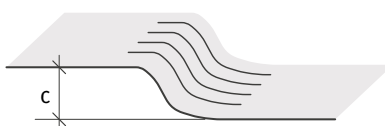


Fig. 40 Désaffleurement.

#### 4.2.1.2.4 Amélioration de la planéité du support

Si l'on dépasse les tolérances précédemment évoquées, il convient de combler les creux ou d'éliminer les aspérités de la manière suivante :

- **creux** : remplissage à l'aide d'un mortier de résine modifiée, d'un mortier résineux, d'une masse bitumineuse, ...
- **aspérités** : décapage et correction mécaniques, ponçage, application d'une couche de remplissage, ...

#### 4.2.1.3 Rugosité du support

On distingue les compositions avec ou sans apport de matière (colle, bitume chaud). Dans le cas de membranes soudées ou non adhérentes, c'est-à-dire sans apport de matière, la rugosité doit être limitée de manière à éviter les perforations pendant la pose. Dans le cas d'un revêtement non adhérent (pose libre ou fixation mécanique), une couche de désolidarisation (non-tissé, par exemple) peut s'avérer nécessaire.

En cas de membranes soudées à la flamme, la rugosité doit en outre être limitée de sorte que, lors du soudage, un ruban de bitume puisse toujours se former devant le rouleau et que cette masse ne disparaisse pas complètement dans les creux du support.

En revanche, une isolation ou une étanchéité posées avec une colle à froid ou du bitume chaud, c'est-à-dire avec un apport de matière, peut s'accommoder d'une rugosité plus importante, ce qui rend les critères moins sévères. Lorsque la rugosité du support est trop élevée, on utilisera toutefois plus de colle ou de bitume chaud pour pouvoir obtenir une bonne adhérence. Pour les étanchéités liquides également, il conviendra de tenir compte d'une surconsommation de produit.

Afin de pouvoir apprécier la faisabilité des travaux envisagés, on se reportera aux écarts admissibles mentionnés au tableau 9 (p. 43). Pour évaluer la rugosité du support, on se référera au § 4.1.2.3 de la [Note d'information technique n° 253](#) [C12].

Si la rugosité est particulièrement élevée, il peut être nécessaire de l'améliorer, par exemple en fai-

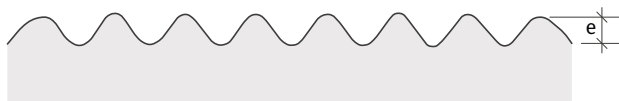


Fig. 41 Rugosité du support.

sant usage de mortier modifié, de bitume chaud ou en soudant une sous-couche de type V4 ou analogue.

#### 4.2.1.4 Cohésion et adhérence

Dans le cas d'une étanchéité adhérente ou d'un pare-vapeur adhérent, on veillera à contrôler la présence éventuelle, à la surface du béton lourd ou léger, de laitance de ciment qui pourrait empêcher la bonne adhérence. La cohésion de surface doit être suffisante pour reprendre la charge du vent et permettre une bonne adhérence de la couche supérieure. Certains matériaux peuvent nécessiter une cohésion plus élevée (50 kPa pour les étanchéités résineuses, par exemple) [E3].

Au besoin, la pellicule de ciment peut être éliminée par un nettoyage à l'eau sous pression, un décapage mécanique, un ponçage (pour les petites surfaces), etc.

Pour les matériaux autres que ceux à base de liants hydrauliques, il conviendra de suivre les recommandations du fabricant (préparation du support, application d'un primaire approprié, ...) afin d'obtenir une adhérence suffisante de la couche supérieure.

#### 4.2.1.5 Étanchéité à l'air

Il convient en premier lieu de faire une distinction entre l'**étanchéité à l'air du support de toiture**, d'une part, qui influence fortement la charge du vent sur le complexe toiture (cf. § 2.1.2.1, p. 10) et le risque de condensation interne (§ 4.1, p. 41), et l'**étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment** dont le support de toiture fait partie, d'autre part.

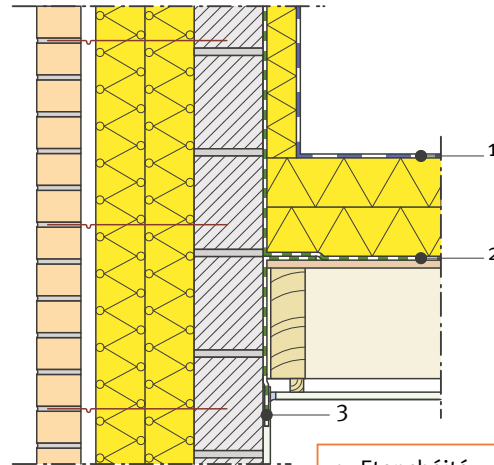
En ce qui concerne la stabilité au vent du complexe toiture et le risque de condensation, un béton coulé en place est considéré comme étanche à l'air. En présence d'une forme de pente, l'étanchéité à l'air dépendra du support de toiture.

La plupart des autres types de supports sont perméables à l'air du fait de la présence de joints entre les éléments. Ils peuvent être rendus étanches au moyen d'un pare-vapeur continu, qui doit être posé en adhérence pour contribuer à la reprise des efforts du vent (voir la [NIT 239](#)) [C8].

Pour que l'enveloppe du bâtiment soit étanche à l'air, il convient d'assurer la continuité entre l'étanchéité à l'air de la toiture et celle des murs extérieurs. Ceux-ci sont généralement rendus étanches grâce à l'enduit



Fig. 42 Membrane d'attente.



1. Etanchéité
2. Pare-vapeur
3. Membrane en attente

intérieur ou à une membrane d'étanchéité à l'air appliquée du côté intérieur des parois [C2] :

- pour les **supports en béton**, intrinsèquement étanches à l'air, la continuité de l'étanchéité ne constitue généralement pas un problème et est assurée par la jonction étanche du support (plafonné) avec l'étanchéité des parois verticales. Dans le cas exceptionnel où certaines interventions de l'entrepreneur d'étanchéité seraient encore nécessaires, l'auteur de projet attirera spécifiquement l'attention sur ce point et le stipulera dans les documents contractuels
- pour les **supports légers** (en bois ou en tôles d'acier profilées), qui ne sont pas intrinsèquement étanches à l'air, il s'avérera nécessaire d'effectuer un raccord étanche à l'air entre le pare-vapeur ou l'étanchéité de la toiture et l'étanchéité à l'air des murs. Autrement dit, il faudra assurer la jonction des barrières d'étanchéité à l'air situées respectivement au-dessus et en dessous du support de toiture. À cette fin, des membranes d'attente seront prévues durant les travaux de gros œuvre et devront être raccordées au pare-vapeur ou à l'étanchéité par l'entrepreneur d'étanchéité (figure 42).

Pour plus de détails au sujet de l'étanchéité à l'air, on consultera [Les Dossiers du CSTC 2012/1.7 \[C2\]](#) ainsi que la [Note d'information technique n° 255 \[C13\]](#).

#### 4.2.2 TYPES DE SUPPORTS DE TOITURE ET LEURS PROPRIÉTÉS

Les différents types de supports de toiture plate sont brièvement décrits ci-après. Le lecteur trouvera de plus amples informations en la matière dans les [Notes](#)

[d'information technique n° 223, n° 236 et n° 253 \[C5, C7, C12\]](#) en ce qui concerne le béton, les éléments préfabriqués et les éléments en acier-béton ainsi que dans la [Note d'information technique n° 239 \[C8\]](#) pour les tôles d'acier profilées.

##### 4.2.2.1 Béton coulé en place ou béton de pente

Le béton coulé *in situ* est une solution technique fiable qui offre l'avantage de constituer un support continu pour la pose des couches successives et de se prêter aux formes complexes. Toutefois, son poids propre élevé et la quantité importante d'humidité de construction qu'il renferme (délai de séchage) peuvent en limiter l'application.

Il convient de veiller à l'état de siccité et à la planéité du support, ainsi qu'à sa rugosité et à sa cohésion. L'étanchéité à l'air pose rarement problème.

##### 4.2.2.2 Éléments préfabriqués recouverts de béton de seconde phase

Ces supports sont constitués d'une série d'éléments préfabriqués en béton ordinaire, en terre cuite ou en béton léger (hourdis, éléments en U inversé, en T, en double T, poutrelles et entrevous) pourvus d'un béton de seconde phase d'au moins 30 mm d'épaisseur destiné à améliorer les performances structurelles.

Il convient ici également de veiller à l'état de siccité (bien que l'humidité de construction soit moins élevée que pour un béton coulé sur place), ainsi qu'à la planéité, à la rugosité et la cohésion. L'étanchéité à l'air

est réalisée à l'aide de la couche de béton de seconde phase, en veillant tout particulièrement à obturer les extrémités des hourdis.

#### 4.2.2.3 Éléments préfabriqués sans béton de seconde phase

Il s'agit de hourdis ou de planchers nervurés en béton ordinaire ou en béton léger (cellulaire) :

- ces éléments étant préfabriqués, la rugosité et la teneur en humidité ne posent généralement pas de problème. Le béton cellulaire, en revanche, peut contenir de grandes quantités d'humidité et doit être suffisamment sec en surface avant d'entamer les travaux de toiture
- les joints longitudinaux des éléments préfabriqués en béton ordinaire ou en béton cellulaire sans couche de compression doivent toujours être comblés; dans ce cas, le support de toiture est considéré comme étanche à l'air pour le calcul des charges de vent. Lorsque des exigences spécifiques sont posées à l'étanchéité à l'air de l'enveloppe, cette mesure ne sera toutefois pas suffisante et l'on devra compter sur le pare-vapeur ou l'étanchéité de toiture pour former la couche étanche
- après la pose, on peut être confronté à des différences de niveau notables entre les éléments préfabriqués (figure 43), en particulier pour les éléments en TT. Le pare-vapeur, l'isolation et l'étanchéité devront dès lors être mis en œuvre selon une approche spécifique (voir [Les Dossiers du CSTC 2017/4.5](#)) [M9].

#### 4.2.2.4 Dalles mixtes en acier-béton

Ces supports se composent d'une tôle d'acier nervurée sur laquelle un béton armé est coulé en place. La tôle sert à la fois de plan de travail, de coffrage perdu et d'élément portant pendant la mise en œuvre du béton. Dans le cas d'une dalle collaborante, après durcissement du béton, l'acier et le béton sont solidarisés grâce aux nervures, l'acier servant également à reprendre les efforts de traction.

Pour ce type de support, il convient de veiller à l'état de siccité, à la planéité, à la rugosité et à la cohésion;

l'étanchéité à l'air, quant à elle, pose rarement problème.

La [Note d'information technique n° 236](#) [C7] fournit de plus amples détails sur les dalles mixtes en acier-béton.

#### 4.2.2.5 Solives supportant des voliges ou des panneaux

Ces supports de toiture se composent de :

- voliges (en particulier dans le cas de toitures de forme complexe)
- panneaux de particules, de contreplaqué, OSB, en fibrociment ou à base de copeaux de bois agglomérés au ciment et armés.

Les différents matériaux doivent satisfaire aux dispositions des STS 31 et 32 [S2, S3]. Les exigences et la classification du bois massif et des panneaux à base de bois sont définies dans les normes NBN EN 338 [B14] (bois massif), NBN EN 300 [B12] (OSB), NBN EN 636 [B20] (contreplaqué), NBN EN 312 [B13] (panneaux de particules) et NBN EN 622-1 à 5 [B15 à B19] (panneaux de fibres).

Pour choisir le type de panneau le plus approprié en fonction de son application et de son exposition, on peut consulter [Les Dossiers du CSTC 2015/2.20](#) [C21]. Cet article précise à titre d'exemple qu'un support de toiture chaude doit être adapté à la classe d'utilisation 1b et qu'un panneau d'une classe de service 1 (comme un OSB2 ou un multiplex de classe 1) devrait en principe y satisfaire. Toutefois, lors de la construction d'une toiture plate, il n'est pas toujours possible de garantir que les panneaux ne seront pas humidifiés durant les travaux. Par sécurité, on optera dès lors pour un matériau de classe de service 2 (panneaux OSB3 ou OSB4 et multiplex de classe 2).

Dans le cas d'une toiture utilisée comme terrasse, l'épaisseur minimale des panneaux doit être calculée en fonction de la portée et des charges sur la base de la norme NBN EN 1995-1-1 [B30] et de la [Note d'information technique n° 269](#) [C16]. Le cas échéant, elle est également déterminée par l'épaisseur minimale nécessaire pour pouvoir y appliquer une fixation mécanique.

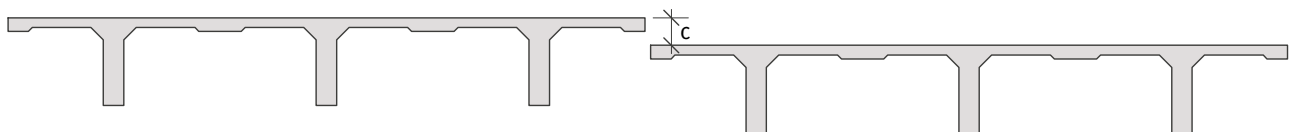


Fig. 43 Différences de niveau entre éléments préfabriqués (cf. "c" dans les schémas du tableau 9, p. 43).

On veillera à prendre les précautions qui s'imposent en matière de désaffleurements entre les planches (exigence de planéité : voir "c" dans les schémas du tableau 9, p. 43). Les différents panneaux doivent être posés sur au moins trois points d'appui.

Pour permettre leurs déformations hygrothermiques, on peut prévoir un jeu de  $\pm 2$  mm à la périphérie des panneaux. En cas de pose en adhérence d'un pare-vapeur ou d'une étanchéité sur un support constitué de panneaux, on place des bandes en indépendance au-dessus de ces joints. Ces mesures ne sont toutefois pas toujours nécessaires, étant donné que les déformations des panneaux de toiture en bois sont généralement assez limitées.

En présence d'un plancher constitué de voliges, une sous-couche armée de polyester (P3, par exemple) est toujours préalablement clouée par-dessus.

Au cas où l'enveloppe doit répondre à des exigences d'étanchéité à l'air, on tiendra compte du fait que les planchers constitués de panneaux ou de voliges sont perméables à l'air en raison des joints entre éléments. L'étanchéité à l'air et à la vapeur peut être assurée par un pare-vapeur continu qui sera mis en œuvre en apportant un soin particulier aux raccords au droit des discontinuités [C2] (voir § 4.2.1.5, p. 44).

Il est à noter que les panneaux en copeaux de bois, généralement de portance limitée, ne peuvent pas toujours supporter le poids d'une personne, ce qui rend leur utilisation délicate.

#### 4.2.2.6 Tôles profilées en acier

Les tôles profilées en acier se distinguent par la hauteur et l'ouverture de leurs ondes (cannelures), leur module (largeur des ondes), la largeur de leurs nervures supérieures, l'épaisseur et le type d'acier, ainsi que le traitement et/ou la finition de la surface.

Pour les portées courantes ( $\pm 6$  mètres), on utilise surtout des éléments de type 106/250/3 et 135/310/3 (hauteur des ondes en mm / module en mm / nombre d'ondes par tôle). Des hauteurs ou des épaisseurs plus importantes permettent de couvrir de plus grandes portées, le choix devant reposer sur une étude de stabilité. En l'absence de finition intérieure sensible à la déformation, l'effet combiné des différentes actions ne peut entraîner une déformation supérieure à  $1/250^e$  de la portée [B5] (maximum 24 mm pour une portée de 6 mètres, par exemple).

Les tôles sont généralement constituées d'acier galva-

nisé revêtu de zinc et/ou d'aluminium et éventuellement d'un *coating*. Elles sont parfois munies de perforations.

Pour le genre d'application considéré ici – fixation mécanique sans lestage –, l'épaisseur nominale (incluant éventuellement un *coating* ou une couche de galvanisation) s'élève au moins à 0,75 mm pour des portées supérieures ou égales à 1,5 m. Cette épaisseur de 0,75 mm est techniquement acceptable. Néanmoins, l'extrême minceur des tôles entraîne souvent une détérioration (bosses) des panneaux d'isolation et de l'étanchéité pendant la pose. Cette épaisseur n'est dès lors autorisée qu'aux endroits où l'aspect visuel ne revêt pas d'importance. Si l'aspect visuel de la face inférieure constitue un critère important, on optera de préférence pour une épaisseur nominale de 0,88 mm, qui permettra en outre une fixation mécanique optimale des joints longitudinaux entre les tôles et renforcera la stabilité ainsi que la rigidité du support.

Afin de garantir la stabilité et la planéité du support de toiture lors de la pose des tôles profilées, il convient d'être attentif aux recommandations suivantes :

- les tôles profilées devraient reposer de préférence sur trois points d'appui au minimum; si l'on ne compte que deux points d'appui (travée extrême, percements de toiture), il est souvent nécessaire de prévoir une tôle plus épaisse pour limiter les déformations. On peut également prévoir une double tôle, pour autant que les éléments soient assemblés au moyen de rivets ou de vis autoforeuses. Le dimensionnement doit être basé sur une étude de stabilité
- les tôles profilées sont de préférence disposées en quinconce : la mise en charge et la flexion sont ainsi transmises de façon plus homogène à la structure, et la flexion dans les travées extrêmes restera limitée
- les tôles doivent être libres de toute tension lors de leur mise en œuvre (non étirées et non comprimées)
- les nervures supérieures doivent rester parallèles à la surface porteuse des appuis, afin de garantir un contact optimal avec les panneaux d'isolation
- les tôles doivent être soutenues sur tout le pourtour de la toiture; au droit des percements de la toiture, elles doivent recevoir un support supplémentaire ou être suffisamment consolidées
- les tôles doivent être fixées les unes aux autres dans le joint longitudinal au moins tous les mètres
- lorsque les ondes sont perpendiculaires à la pente, l'accumulation d'eau dans le creux des ondes est inévitable en cas de pluie en cours d'exécution. On peut remédier à cette situation en perçant chaque onde à mi-portée.

Pour plus d'informations sur les tôles d'acier profilées, leurs caractéristiques et leur pose, on se référera au chapitre 2 de la [Note d'information technique n° 239](#) [C8].

Les tôles profilées en acier sont théoriquement perméables à l'air et à la vapeur, les recouvrements longitudinaux et les extrémités ouvertes des éléments constituant des points de passage de l'air et de la vapeur. L'étanchéité à l'air (pour la résistance au vent) et à la vapeur peut être assurée par la mise en œuvre d'un pare-vapeur continu (en adhérence totale) ou par la pose en continu de panneaux d'isolation pourvus d'un parement sur les deux faces et d'épaulements ou de joints rendus étanches.

Au cas où l'enveloppe doit répondre à des exigences d'étanchéité à l'air, on ne pourra pas compter sur le support en tôles d'acier. On devra dès lors assurer la continuité entre l'étanchéité à l'air des murs et de la toiture (pare-vapeur ou étanchéité) à l'aide de membranes d'attente qui seront posées durant les travaux de gros œuvre (voir § 4.2.1.5, p. 44).

#### **4.2.2.7 Panneaux de toiture composites avec isolation thermique intégrée (bois ou métal)**

Comme déjà mentionné au chapitre 3, ce type de support qui assure également une fonction isolante peut nécessiter un complément d'isolation lorsque son épaisseur est limitée. Il existe toutefois des panneaux plus épais suffisamment isolants, sur lesquels une étanchéité de toiture peut ensuite être posée.

Ces supports sont perméables à la vapeur et à l'air du fait de la présence de joints entre éléments.

Le poseur de tels panneaux doit tenir compte du fait qu'une certaine étanchéité à la vapeur peut être exigée du côté intérieur pour éviter des problèmes de condensation (voir le chapitre 6, p. 55). À cette fin, les joints entre les panneaux doivent généralement être rendus étanches à la vapeur selon les consignes du fabricant.

Pour garantir la planéité, il convient de liaisonner les panneaux afin d'éviter les mouvements différentiels et les désaffleurements.

### **4.3 EXAMEN DU SUPPORT**

Avant d'entamer les travaux de toiture, l'entrepreneur d'étanchéité examine l'état apparent du support (support de toiture ou forme de pente) et s'assure que la surface de ce dernier est suffisamment sèche et répond aux exigences de cohésion, de planéité et de rugosité énoncées au § 4.2.1 (p. 41). Quant aux pentes et aux niveaux, il n'est pas possible de les évaluer visuellement. Ils relèvent de la responsabilité de l'entrepreneur qui les a réalisés (cf. chapitre 5).

Le support de toiture et sa conformité aux dispositions contractuelles doivent être acceptés par le maître d'ouvrage ou son représentant. La surface visible du support doit être entièrement parachevée, en ce compris les relevés, les joints de dilatation, les gouttières et les ouvertures pour les avaloirs.

Les déchets de toute nature doivent être éliminés du support par brossage, les aspérités, désaffleurements et bosses hors tolérances aplanis, et les cavités comblées avec des matériaux adéquats.

# 5

## PENTE DE LA TOITURE

### 5.1 GÉNÉRALITÉS

Les matériaux et les techniques dont nous disposons aujourd'hui permettent, moyennant des précautions particulières, de réaliser des toitures sans pente (si l'on souhaite retarder l'évacuation d'eau, par exemple). Cela implique toutefois un certain nombre d'inconvénients dont il faut être conscient :

- le poids supplémentaire de l'eau stagnante doit être pris en compte, car il peut accroître les déformations sur des structures porteuses légères
- les fuites éventuelles peuvent causer de graves infiltrations d'eau
- la glace peut engendrer des efforts de traction dans l'étanchéité
- les réparations et l'entretien nécessitent plus de travail (eau stagnante à évacuer)
- les salissures peuvent s'accumuler et attaquer la protection UV, voire les matériaux eux-mêmes [N2]
- la surface de la toiture peut devenir glissante (danger pour les piétons, le cas échéant).

Pour toutes ces raisons, on conseille de réaliser une pente telle qu'après déformation du support de la toiture (flèche éventuelle), l'eau puisse s'écouler normalement vers les points d'évacuation. Lors de la conception du support de toiture et même de la structure porteuse, il convient dès lors de veiller à ménager une pente suffisante pour permettre une évacuation correcte des eaux, non seulement au niveau des parties courantes et des chéneaux, mais aussi autour des pénétrations ou émergences en toiture (coupoles et lanterneaux principalement).

Certains acteurs du marché tendent à promouvoir des toitures à pente nulle à des fins de rétention et éventuellement de réutilisation de l'eau de pluie. Pour les raisons précitées, une pente nulle ne peut être envisagée que sous certaines conditions et notamment en prenant une série de mesures détaillées dans [Les Dossiers du CSTC 2019/6.4](#) [M6].

S'il n'est généralement pas possible d'éviter totalement la stagnation d'eau sur une toiture plate, elle peut être limitée. Pour ce faire, dans les nouvelles constructions, la pente doit s'élever de préférence à 2 % ou plus en tout point (à l'état final, après flexion éventuelle) (figure 44). Dans les noues et chéneaux intérieurs, une pente d'au moins 1 % est conseillée, mais n'est pas toujours réalisable. Il est également conseillé de respecter ces principes lors de la rénovation de toitures existantes. Toutefois, cela s'avère souvent difficile. On peut dès lors prévoir une isolation supplémentaire selon les techniques d'exécution décrites aux §§ 5.2.4, 5.2.5 et 5.2.6 (pp. 51 à 53).

La stagnation d'eau ne peut pas être entièrement évitée et ne constitue pas un motif de refus des travaux. La plupart des questions posées à ce sujet concernent l'aspect esthétique ou d'autres inquiétudes non fondées. Il n'existe pas de critère de stagnation admissible en Belgique, mais il semble raisonnable d'accepter des stagnations limitées et localisées. Notons également que des précautions peuvent être prises là où l'on craint une certaine stagnation d'eau (système bicouche plutôt que monocouche, joints soudés plutôt que collés, membranes synthétiques plus

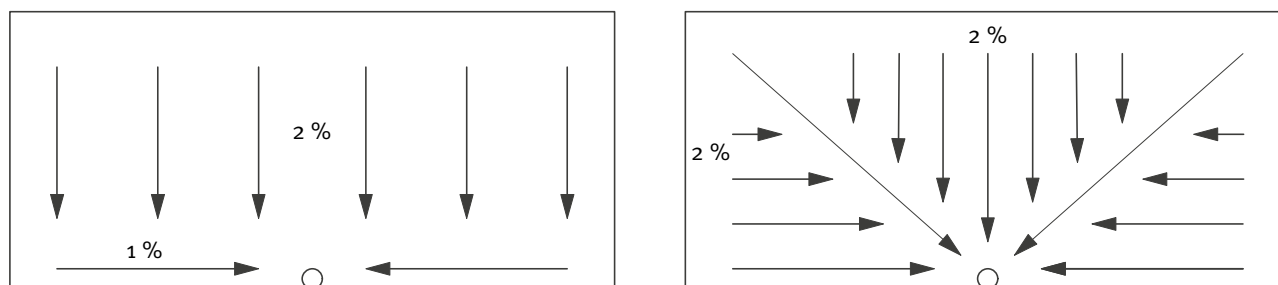


Fig. 44 Pente nominale des toitures et des chéneaux.

épaisses, ...). On consultera à ce sujet [Les Dossiers du CSTC 2013/4.7 \[N2\]](#).

La prévention des stagnations d'eau relève de la conception. Elle incombe à l'entrepreneur qui réalise le support de toiture et/ou la forme de pente, ainsi qu'au maître d'œuvre (architecte, par exemple), qui doit prévoir suffisamment de place pour réaliser les pentes (notamment grâce à des acrotères suffisamment hauts).

Pour éviter de surcharger la toiture et empêcher que l'eau s'écoule à l'intérieur en cas d'obstruction de l'évacuation, des trop-pleins peuvent être prévus en toiture (avaloirs de secours plus élevés et/ou déversoirs au travers des acrotères) [V2]. Dans tous les cas, des gargouilles seront installées en un certain nombre d'endroits bien visibles dans les acrotères, juste au-dessus du niveau d'eau maximal admissible sur le toit. Ces dispositifs jouent un rôle d'alerte, en ce sens qu'ils constituent le signal visible d'une déficience du système d'évacuation normal. Pour plus de détails à ce sujet, nous renvoyons à la [Note d'information technique n° 270 \[C17\]](#) et au [Rapport CSTC n° 21 \[C3\]](#).

Notons que si l'isolation et/ou l'étanchéité font l'objet d'une fixation mécanique, celle-ci doit être réalisée dans le support et non dans la forme de pente, dont la résistance est insuffisante ou inconnue, ce qui complique l'exécution en cas de forme de pente d'épaisseur importante. Une étude *in situ* est par ailleurs nécessaire pour évaluer la résistance en traction du support.

## 5.2 TECHNIQUES DE RÉALISATION

La pente peut être réalisée de différentes manières :

1. en donnant une inclinaison au support de toiture coulé sur place (dalle de béton monolithique)
2. en posant en pente les éléments préfabriqués (éléments en béton ou en bois, tôles profilées en acier, ...)
3. en réalisant une forme de pente à base de ciment, c'est-à-dire en béton ordinaire, en béton maigre (quantité limitée de ciment), en béton léger (granulats remplacés en partie par des granulats légers

tels que l'argile expansée), en béton mousse (agent moussant), en mortier de chape ou en mortier isolant (granulats isolants légers)

4. en utilisant des panneaux d'isolation à pente intégrée
5. en appliquant localement des granulats isolants liés au bitume
6. en réalisant une forme de pente en mortier isolant et en y intégrant des panneaux d'isolation.

### 5.2.1 SUPPORT DE TOITURE EN BÉTON MONOLITHIQUE À PENTE INTÉGRÉE

La réalisation d'un support de toiture en pente constitue une solution théoriquement attrayante, car elle évite d'avoir recours à une pente supplémentaire (béton de pente). Cette solution offre l'avantage de réduire le poids du complexe (dans le cas d'un support d'épaisseur constante réalisé en pente) et de limiter l'humidité de construction. En pratique, toutefois, il n'est pas toujours possible de réaliser une parfaite évacuation des eaux sans prévoir localement une forme de pente supplémentaire. La pente doit être assurée dans les deux sens (longitudinalement et transversalement), ce qui doit être pris en compte dès la conception.

### 5.2.2 ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS POSÉS EN PENTE

La pente est réalisée en posant des éléments préfabriqués (béton, tôles d'acier profilées, bois) sur une structure créant une pente.

Les fermes ou les poutres d'une telle structure ont habituellement une pente suffisante dans un sens, mais la flèche du support de toiture entraîne, dans nombre de cas, des stagnations d'eau dans les chéneaux. Si la stagnation d'eau doit être limitée, il est donc recommandé de prévoir, dès la conception, une pente dans l'autre direction également, en utilisant par exemple des colonnes de hauteur variable. Cette technique est surtout conseillée lorsqu'on a recours à des tôles profilées en acier (sans chevauchement). On peut en outre soutenir les tôles au droit des gouttières ou disposer les gouttières en pente. Dans le cas des

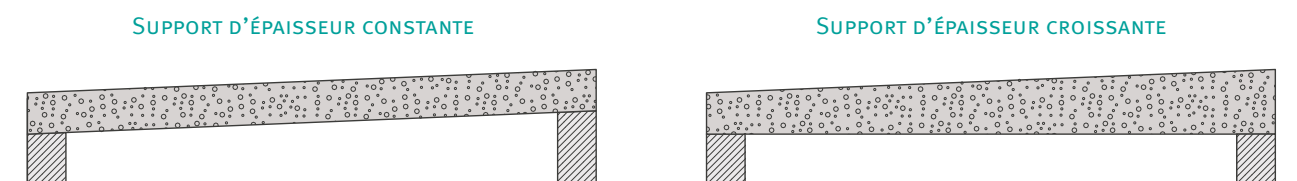


Fig. 45 Supports de toiture en béton monolithique à pente intégrée.

A. ÉLÉMENTS EN BÉTON

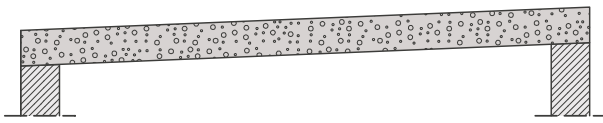
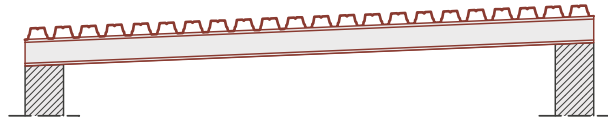


Fig. 46 Éléments préfabriqués disposés en pente.

B. TÔLES D'ACIER PROFILÉES



tôles profilées sans chevauchement, on peut également veiller à ce que leur point d'appui central soit situé plus haut que leurs extrémités, afin de créer un contre-niveau.

### 5.2.3 FORME DE PENTE À BASE DE CIMENT

La mise en œuvre d'une forme de pente à base de ciment permet de créer facilement une pente dans plusieurs directions, mais augmente le poids de l'ensemble et renferme une certaine quantité d'humidité de construction, surtout en cas de forte épaisseur. La forme de pente doit être considérée comme un élément du support de toiture. Si elle est à base de béton léger, elle remplit également une fonction légèrement isolante (sans toutefois remplacer la couche d'isolation).

La forme de pente à base de ciment se pose directement (sans couche de désolidarisation) sur le support de toiture pour éviter l'inclusion d'humidité de construction et permettre au séchage de s'effectuer vers l'intérieur.

L'évacuation de l'humidité vers l'extérieur par des buses d'aération temporaires n'est efficace que dans des cas très exceptionnels et n'est d'ailleurs pas autorisée. Pour faciliter l'évacuation de l'eau de gâchage excédentaire, il peut être judicieux de forer quelques trous dans le béton du support de toiture, à hauteur des points (les plus bas) où l'eau risque de s'accumuler. Ces perforations seront colmatées par la suite et n'auront pas d'influence sur l'action du vent ou l'étanchéité à l'air.

Avec certains matériaux, il n'est pas possible d'obtenir directement une rugosité et une planéité satisfaisantes, en particulier dans le cas du béton léger (gra-

nulats d'argile expansée). Une couche de lissage bien adhérente composée de 20 mm de mortier de ciment, posée directement, permet de corriger la rugosité et/ou la planéité, et peut également limiter quelque peu l'absorption d'eau en offrant une surface plus fermée. Cette couche étant toutefois susceptible de se décoller après un certain temps en raison du retrait et des sollicitations thermiques (même si celles-ci sont réduites en présence d'une isolation thermique suffisante), elle sera uniquement réalisée sous une couche d'isolation.

Lorsque le complexe est posé en adhérence, l'obtention d'une bonne adhérence est très importante, mais n'est pas toujours possible sur les formes de pente poreuses à base de ciment (béton mousse, béton léger, ...) du fait d'une cohésion superficielle insuffisante que l'on peut attribuer à différents facteurs (voir également [Les Dossiers du CSTC 2014/2.5](#)) [M11] :

- séchage trop rapide de la surface (fort ensoleillement) compromettant la bonne hydratation du ciment et produisant une surface pulvérulente
- sensibilité aux gelées nocturnes du béton léger ou béton mousse (contenant tous deux beaucoup d'eau de gâchage)
- présence d'une couche de laitance non adhérente à la suite d'averses survenant pendant ou juste après la mise en œuvre, et absorption d'une grande quantité d'eau par les couches plus poreuses (béton mousse, par exemple).

Les conditions de mise en œuvre sont donc très importantes et des précautions doivent être prises pour atteindre les performances visées, ce qui n'est pas toujours évident en pratique et rend la pose en adhérence sur ces matériaux parfois impossible. On peut dans ce cas opter pour un système posé en indépendance (avec lestage) ou fixé mécaniquement.

### 5.2.4 PANNEAUX D'ISOLATION À PENTE INTÉGRÉE

L'isolation à pente intégrée offre l'avantage de n'occasionner qu'un léger supplément de poids et de ne pas nécessiter d'apport d'eau. Un autre avantage réside dans l'accroissement de la résistance thermique de la toiture.

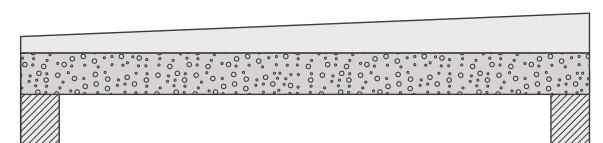


Fig. 47 Forme de pente à base de ciment.

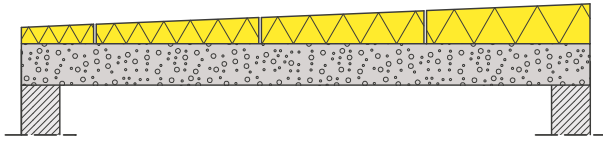


Fig. 48 Pente réalisée au moyen de panneaux d'isolation à pente intégrée.

Dans le cas de longues lignes de pente, les épaisseurs d'isolation peuvent toutefois devenir localement importantes. Lorsqu'on utilise des panneaux d'isolation à pente intégrée pour réaliser une pente dans les deux sens, il faut respecter un plan de pose détaillé. La préparation et la mise en œuvre de ces travaux exigent un personnel qualifié. L'écran pare-vapeur éventuel doit toujours être placé sous l'ensemble de l'isolation.

La pente finale obtenue dépend également de la planéité et de l'horizontalité du support.

### 5.2.5 GRANULATS ISOLANTS LIÉS AU BITUME

Les granulats isolants (perlite ou vermiculite, par exemple) liés au bitume offrent également l'avantage de n'occasionner qu'un léger supplément de poids, de ne pas nécessiter d'apport d'eau et d'accroître la résistance thermique de la toiture.

Il convient par contre de tenir compte de la sensibilité à l'eau de ces matériaux, qui ne peuvent rester exposés aux intempéries et sont donc plutôt utilisés pour des corrections locales de pente.

### 5.2.6 FORME DE PENTE CONSTITUÉE D'UN MORTIER ISOLANT À BASE DE CIMENT ET DE PANNEAUX D'ISOLATION

Cette variante de la toiture chaude est traitée au § 3.3.3 (p. 37) parmi les compositions nécessitant une attention particulière.

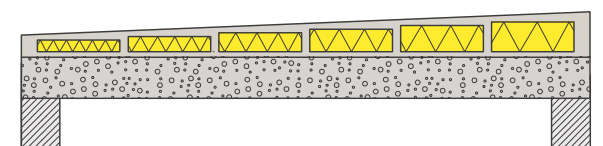


Fig. 49 Panneaux d'isolation d'épaisseurs différentes et mortier isolant.

L'utilisation d'un mortier à base de ciment et de granulats isolants (EPS, vermiculite expansée, etc.) dans lequel on peut intégrer des panneaux d'isolation (figure 49) est une solution relativement légère qui renferme moins d'humidité de construction que le béton de pente et facilite la réalisation de la pente dans les deux directions.

Pour assurer une isolation thermique optimale, éviter des dégâts par le gel et permettre l'adhérence de la couche rapportée (le cas échéant), il faut que les composants puissent sécher. Dans le cas d'une construction neuve, où le système est posé directement sur le support de toiture en béton, le séchage peut s'effectuer vers l'intérieur; une condition préalable est donc de se trouver en classe de climat intérieur I ou II, voire III moyennant une étude hygrothermique confirmant l'absence de nécessité d'un pare-vapeur. Si un pare-vapeur est nécessaire (classe de climat intérieur III et IV) ou en cas de rénovation, on tiendra compte du fait que le système renferme une certaine quantité d'humidité et nécessite un temps de séchage important.

La pose doit s'effectuer sur un support exempt d'eau stagnante, et par temps sec.

La composition du mortier isolant doit être telle qu'elle exclut les problèmes décrits au § 3.2.3 (p.34). Il convient de veiller à ce que l'adhérence de la couche supérieure de mortier soit suffisante et que le système ne soit pas endommagé par les cycles de gel-dégel. Un taux d'humidité trop élevé peut également affecter la cohésion superficielle (en plus des performances thermiques). Une pose en adhérence de la couche rapportée n'est donc pas toujours possible.



**Remarque**

La pente des toitures existantes peut être améliorée sans engendrer de contrainte supplémentaire notable, en recourant aux solutions évoquées aux § 5.2.4 (p. 51) et § 5.2.6. De tels travaux impliquent généralement le rehaussement des rives de toiture et des relevés; il convient donc de prendre des précautions particulières pour les accès donnant sur la toiture (hauteur des seuils, drainage de la coulisse).

Lorsqu'on opte pour un tel système, il est conseillé d'en consulter la documentation technique ainsi que l'attestation d'aptitude à l'emploi, et en particulier de s'assurer de sa compatibilité avec les couches adjacentes (présence de solvants dans les colles ou primaires, par exemple).

**5.2.7 PROPRIÉTÉS DES DIFFÉRENTS SYSTÈMES DE PENTE**

Le tableau 10 présente un aperçu de quelques propriétés caractéristiques des différents systèmes de pente.

Tableau 10 Propriétés caractéristiques des systèmes de pente.

Système de pente	Risque de stagnation d'eau	Augmentation du poids	Augmentation de l'humidité de construction	Pouvoir isolant par rapport au pouvoir isolant total	Niveau de compétence requis pour l'exécution
<b>Support de toiture en pente</b>	Réel	Nulle <sup>(1)</sup> / Importante <sup>(2)</sup>	Nulle <sup>(1)</sup> / Importante <sup>(2)</sup>	Faible	Élevé
<b>Éléments préfabriqués en pente</b>	Faible (sauf dans les chéneaux)	Nulle	Nulle	Faible (assez bon en cas de béton cellulaire)	Normal
<b>Forme de pente à base de ciment</b>	Très faible	Importante	Importante, voire très importante <sup>(3)</sup>	Faible	Élevé
<b>Panneaux d'isolation à pente intégrée</b>	Faible	Très faible	Nulle	Bon à très bon	Élevé
<b>Mortier isolant et panneaux d'isolation</b>	Très faible	Limitée	Importante	Bon	Très élevé

<sup>(1)</sup> En cas d'épaisseur constante (à gauche à la figure 45, p. 50).

<sup>(2)</sup> En cas d'épaisseur croissante (à droite à la figure 45, p. 50).

<sup>(3)</sup> Selon le type.



# 6

## ÉCRAN PARE-VAPEUR

### 6.1 FONCTION

Pour éviter une quantité inadmissible de condensation interne (cf. § 7.1.8, p. 72), il convient d'empêcher que de l'air intérieur humide ou de l'humidité de construction pénètre dans le matériau isolant par diffusion de vapeur et/ou par convection. La présence d'une étanchéité de toiture, généralement étanche à la vapeur, du côté extérieur du complexe toiture peut entraîner une inclusion d'humidité dans l'isolant par condensation.

C'est la raison pour laquelle il est nécessaire d'assurer une étanchéité à la vapeur suffisante sur la face inférieure de l'isolation. La pose d'un pare-vapeur sera généralement nécessaire à cet effet. Celui-ci garantira en même temps l'étanchéité à l'air des supports de toiture non étanches (tôles d'acier profilées, ...), d'une part, et celle des rives, d'autre part. Dans le cas exceptionnel où une étude hygrothermique révélerait qu'un pare-vapeur n'est pas nécessaire, il se peut néanmoins que sa présence s'avère indispensable pour garantir l'étanchéité à l'air et empêcher la convection dans le cas d'un support de toiture perméable à l'air (voir § 4.2.1.5, p. 44). Un tel transport d'humidité doit être évité, car il induit un déplacement plus rapide de grandes quantités d'humidité dans le complexe toiture que le phénomène de diffusion.

#### Remarque

En matière de diffusion de vapeur, c'est l'auteur de projet (construction neuve) ou le responsable du projet (rénovation) qui déterminera l'utilité du pare-vapeur, soit par calcul, soit en se servant de données moyennes précalculées comme celles du tableau 13 (p. 62).

Lorsque le support de toiture est perméable à l'air, l'écran pare-vapeur peut également améliorer la résistance au vent (voir le chapitre 8 de la [NIT 239](#)) [C8].

Dans certains cas, un écran pare-vapeur peut en outre servir d'étanchéité provisoire pendant les travaux de construction. Ce pare-vapeur doit alors être constitué d'un matériau d'étanchéité, et ses joints et relevés doivent être rendus parfaitement étanches à l'eau. Le choix du pare-vapeur sera dès lors principalement déterminé par cette fonction d'étanchéité provisoire (pas de feuille polyéthylène, pas de membrane V3 sur tôles d'acier profilées, ...). Avant de poursuivre les travaux, il y a lieu de contrôler si le pare-vapeur a subi des dégâts mécaniques et de les réparer si nécessaire. Lors de la rénovation d'une toiture chaude (isolation complémentaire), l'étanchéité existante peut devenir le pare-vapeur du nouveau complexe toiture. Elle doit également être inspectée et, au besoin, réparée.

L'encadré en page 56 explique en détail en quoi consiste le compartimentage de l'isolation.

Sur une toiture inversée, la fonction d'écran pare-vapeur est assurée par l'étanchéité située sous l'isolation (§ 3.1.2, p. 30). Dans le cas d'une toiture de chambre frigorifique, le pare-vapeur se trouve toujours au niveau de l'étanchéité, au-dessus de l'isolation, du côté extérieur du bâtiment (voir § 3.3.3, p. 37).

### 6.2 CHOIX

La nécessité d'un écran pare-vapeur et le type à utiliser dépendent de plusieurs facteurs, dont le climat extérieur et intérieur, la présence d'humidité de construction (dans la structure), les caractéristiques des matériaux composant la toiture, leur comportement en présence d'humidité, l'ensoleillement de la toiture et le facteur d'absorption du rayonnement solaire de l'étanchéité ou de la couche de protection.

Le choix du pare-vapeur doit être basé sur une étude hygrothermique. Le calcul se fonde sur les facteurs précités et prend en compte des données expérimentales et/ou certifiées ou normalisées concernant les matériaux. Ce qui suit propose une approche simplifiée acceptable dans la majorité des cas. L'auteur de projet déterminera si une étude plus approfondie est nécessaire.

### Compartimentage de l'isolation

La présence du pare-vapeur, en particulier lorsqu'il est étanche à l'eau (par exemple, s'il a été utilisé comme étanchéité provisoire), a pour effet de retarder et d'entraver la découverte d'éventuelles infiltrations d'eau, et de ralentir, voire d'empêcher le séchage de l'humidité confinée (cf. § 7.1.8, p. 72). On peut remédier à la première difficulté en compartimentant l'isolation à intervalles réguliers. Cette opération empêchera la dispersion de l'eau infiltrée dans la toiture et, dans certains cas, aidera à la détection de fuites éventuelles. Ce compartimentage s'effectue en rassemblant l'étanchéité et l'écran pare-vapeur s'ils sont compatibles (figure 50) ou en remontant le pare-vapeur sans l'assembler à l'étanchéité s'ils ne sont pas compatibles (figure 51); la figure 52 illustre le cas d'une isolation bicouche.

Un tel compartimentage est différent de la fermeture de fin de journée, mesure provisoire destinée à protéger l'isolation des intempéries, qui ne sera pas forcément suffisante pour remplir les fonctions visées ici.

Le compartimentage peut entraîner des coûts supplémentaires. Il doit être prévu dès la conception, et la dimension des compartiments doit être spécifiée par l'auteur de projet dans le cahier des charges; il doit être indiqué sur les plans *as built* par le responsable désigné dans le cahier des charges. La surface des compartiments doit être spécifiée par l'auteur de projet, en tenant compte avant tout :

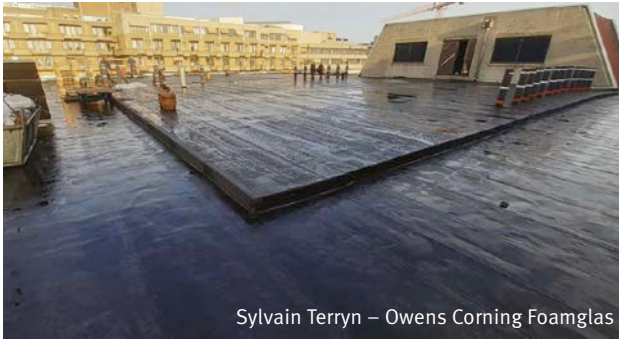
- du risque de stagnation d'eau : celui-ci est plus important au droit des rives et des angles, où il est opportun de prévoir des compartiments plus petits, ainsi qu'au droit des percements de toiture tels que les avaloirs (cf. NIT 244) [C10]
- de la taille de la toiture
- de la cadence de pose : celle-ci est plus élevée pour les toitures industrielles fixées mécaniquement, par exemple.

Le compartimentage ne constitue pas encore une technique courante. Le choix d'y procéder ou non ainsi que la détermination des surfaces et localisations correspondantes appartiennent à l'auteur de projet et se feront au cas par cas, en fonction de l'impact d'une éventuelle propagation d'humidité sur la toiture et des conséquences pour la détection ultérieure d'éventuelles infiltrations.

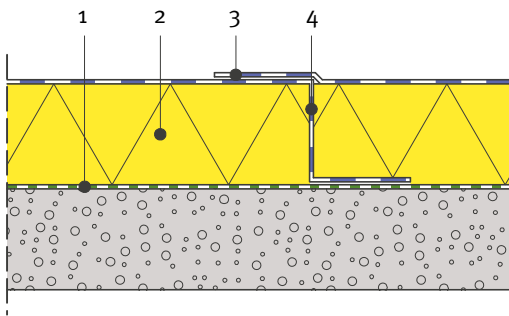
Il se justifie en particulier lorsque l'étanchéité est difficilement accessible (terrasse, jardin, installations techniques, panneaux solaires, parking, ...).

Le compartimentage vise dans tous les cas à limiter la propagation de l'eau infiltrée et l'humidification de l'isolation, que le complexe soit en adhérence, en semi-adhérence, lesté ou fixé mécaniquement. Plus le pare-vapeur tend à assurer une fonction proche de celle de l'étanchéité, plus il empêche la dispersion de l'humidité. Cet aspect doit être pris en compte lors du choix du pare-vapeur.

Il peut également aider à localiser une éventuelle fuite, dans le cas où il est accompagné de mesures non destructives de détection des fuites et/ou si le pare-vapeur est étanche (pas de feuille PE ou de fixation mécanique perforant le pare-vapeur) et posé en adhérence totale sur un matériau qui ne permet pas à l'eau de circuler, c'est-à-dire sur un béton ordinaire plutôt que sur une forme de pente plus poreuse telle qu'un béton mousse ou une chape.

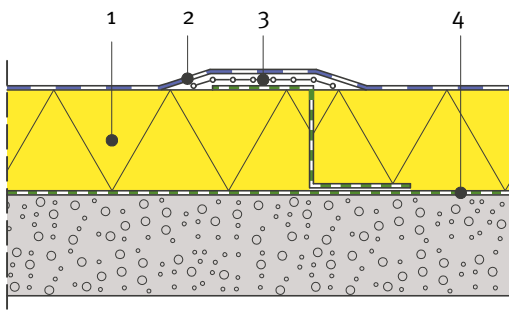


Sylvain Terryn – Owens Corning Foamglas



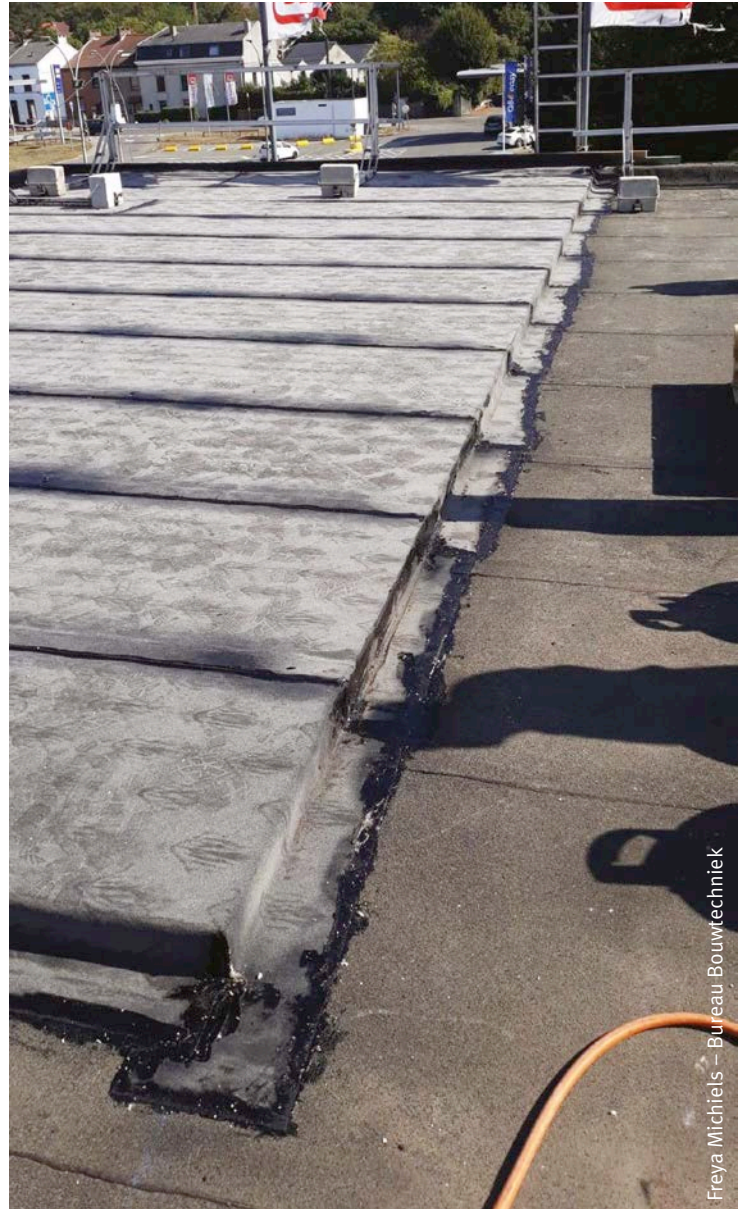
1. Pare-vapeur en matériau compatible avec l'étanchéité
2. Isolation
3. Étanchéité
4. Limite du compartimentage

Fig. 50 Compartimentage de l'isolation dans le cas d'une étanchéité et d'un pare-vapeur compatibles.

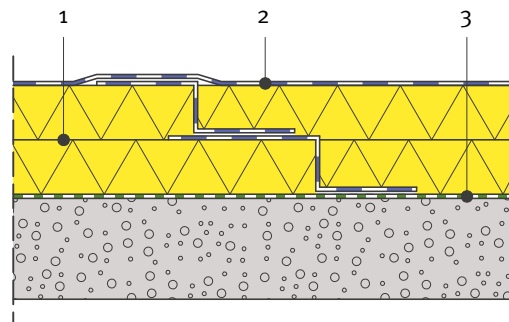


1. Isolation
2. Étanchéité
3. Bande de désolidarisation (polyester non tissé, par exemple)
4. Pare-vapeur

Fig. 51 Compartimentage de l'isolation en cas d'incompatibilité entre l'étanchéité et le pare-vapeur.



Freya Michiels – Bureau Bouwtechniek



1. Isolation bicouche
2. Étanchéité
3. Pare-vapeur

Fig. 52 Compartimentage d'une isolation bicouche.

### 6.2.1 CLASSES DE CLIMAT INTÉRIEUR

On détermine tout d'abord la classe de climat intérieur du bâtiment. Celle-ci dépend principalement de la pression de vapeur à l'intérieur, elle-même étant surtout influencée par la production d'humidité dans le bâtiment. On distingue quatre classes de climat intérieur en fonction de la pression de la vapeur annuelle moyenne à l'intérieur  $p_i$  (en Pa).

La classe de climat intérieur I correspond aux bâtiments dont le potentiel de condensation par diffusion de la vapeur d'eau contenue dans l'air intérieur est tellement bas que tout problème lié à la condensation interne est exclu. La classe de climat intérieur IV comprend les bâtiments où, à défaut de mesures appropriées, on peut s'attendre à une condensation résiduelle annuelle du fait d'une condensation interne dans le complexe toiture.

Le tableau 11 indique la classe de climat intérieur susceptible de régner dans un bâtiment courant.

Les limites entre les classes sont évaluées sur la base de la pression de vapeur annuelle moyenne de l'air intérieur (figure 53) ou sur la base de la différence de pression de vapeur moyenne entre l'air intérieur et l'air extérieur pendant une courte période (figure 54). Si on souhaite vérifier la classe de climat intérieur d'un bâtiment existant (avant rénovation, par exemple) ou déterminer celle d'un bâtiment non cité dans le tableau 11, cette dernière relation peut être utilisée.

En pratique, on peut déterminer assez rapidement, à partir des valeurs moyennes des mesures de climat <sup>(13)</sup>, la classe de climat intérieur de la zone concernée d'un bâtiment existant caractérisé par une production d'humidité relativement constante et ce, à l'aide de la figure 54 ou des données du tableau 11.

Tableau 11 Classes de climat intérieur.

Classes de climat intérieur	Exemples	Pression de vapeur annuelle moyenne à l'intérieur $p_i$ [Pa]	Différence moyenne de pression de vapeur pendant 4 semaines $(p_i - p_e)$ [Pa] <sup>(2)</sup>
<b>I. Bâtiments à production d'humidité permanente faible à nulle</b>	Entrepôts de marchandises sèches Églises, salles d'exposition, garages, ateliers	$1100 \leq p_i < 1165$	$< 159 - 10 \cdot \theta_e$ <sup>(2)</sup>
<b>II. Bâtiments bien ventilés à production d'humidité limitée par m<sup>3</sup></b>	Habitations ventilées selon la norme <sup>(3)</sup> Écoles Magasins Bureaux non climatisés Salles de sport et halls polyvalents	$1165 \leq p_i < 1370$	$< 436 - 22 \cdot \theta_e$ <sup>(2)</sup>
<b>III. Bâtiments moyennement ventilés à production d'humidité plus importante au m<sup>3</sup> et à ventilation modérée à suffisante</b>	Habitations non ventilées selon la norme <sup>(3)</sup> Hôpitaux, homes Salles de consommation, restaurants, salles des fêtes, théâtres Bâtiments faiblement climatisés (HR $\leq$ 60 %)	$1370 \leq p_i < 1500$	$< 713 - 22 \cdot \theta_e$ <sup>(2)</sup>
<b>IV. Bâtiments à production d'humidité élevée</b>	Bâtiments fortement climatisés (HR $>$ 60 %) Locaux d'hydrothérapie Piscines (couvertes) Locaux industriels humides tels que blanchisseries, imprimeries, brasseries ou usines à papier	$p_i \geq 1500$ , limitée à 3000 Pa dans le cadre de cette NIT	$> 713 - 22 \cdot \theta_e$ <sup>(2)</sup>

*Remarque* : les bâtiments en surpression, les bâtiments à teneur en humidité très variable (dancings, par exemple) ou les toitures à faux plafond isolé exigent une étude spécifique du point de vue de la physique du bâtiment.

<sup>(1)</sup> Voir la figure 54.  
<sup>(2)</sup>  $\theta_e$  = température extérieure.  
<sup>(3)</sup> La norme NBN D 50-001 [B11] décrit les différents systèmes de ventilation (A à D) pour les bâtiments résidentiels et en fixe les débits. Il importe que tous les locaux soient ventilés à un débit suffisant.

<sup>(13)</sup> Ces mesures doivent être représentatives de l'utilisation habituelle du bâtiment et s'effectuent de préférence durant la saison de chauffe, quand le bâtiment est en situation normale de ventilation et que la différence de pression de vapeur est bien marquée, plutôt qu'en période estivale où les températures sont élevées et l'aération importante fait que l'on pourrait mesurer une différence de pression de vapeur pratiquement nulle.

On mesure pendant quatre semaines la température et l'humidité relative de l'air intérieur et de l'air extérieur, puis on calcule, sur cette base, la différence de pression de vapeur moyenne entre l'air intérieur et l'air extérieur pendant cette période. Il suffit de reporter cette valeur sur le graphique de la figure 54 en fonction de la température extérieure moyenne pendant la période de mesure pour trouver la classe de climat intérieur du bâtiment.

Le fait que la différence de pression de vapeur entre l'intérieur et l'extérieur dépende de la température extérieure tient à l'inertie hygrique du bâtiment et au comportement des habitants.

La prudence s'impose toujours lorsqu'on détermine la classe de climat intérieur. Ainsi, une habitation ventilée mécaniquement peut, par exemple, présenter une humidité plus élevée due à un dysfonctionnement du système de ventilation. De même, un changement d'affectation du bâtiment peut entraîner une augmentation des sollicitations liées à l'humidité.

A noter que la norme NBN EN ISO 13788 [B54] reprend dans son annexe A (informative et non normative) des classes de climat intérieur différentes de celles décrites ici, lesquelles sont adaptées au climat belge <sup>(14)</sup>.

On trouvera, à la page suivante, un exemple de détermination de la classe de climat intérieur.

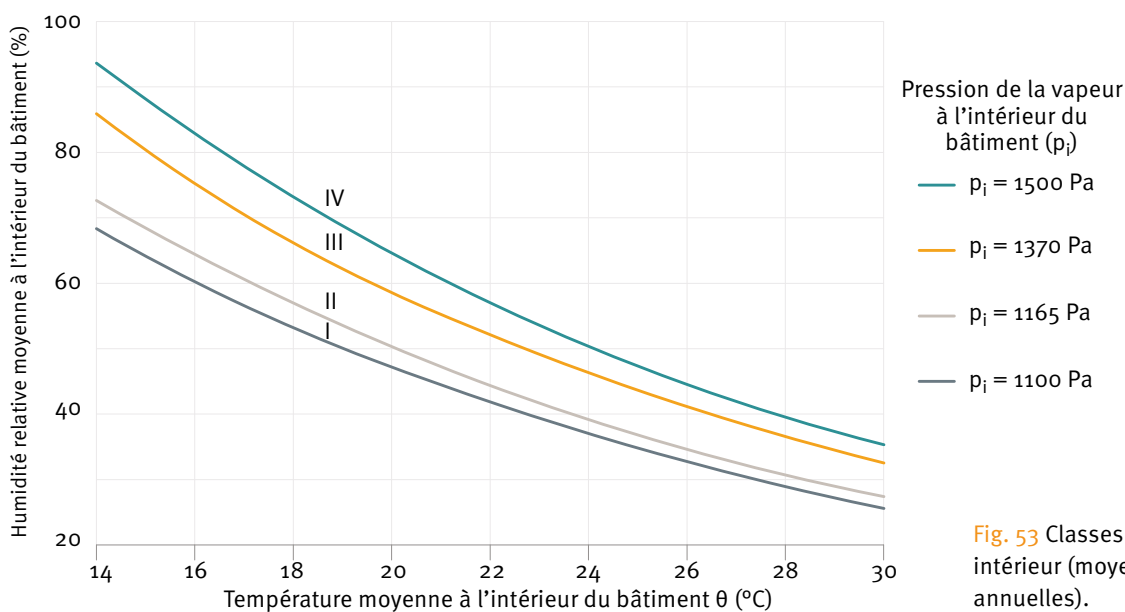


Fig. 53 Classes de climat intérieur (moyennes annuelles).

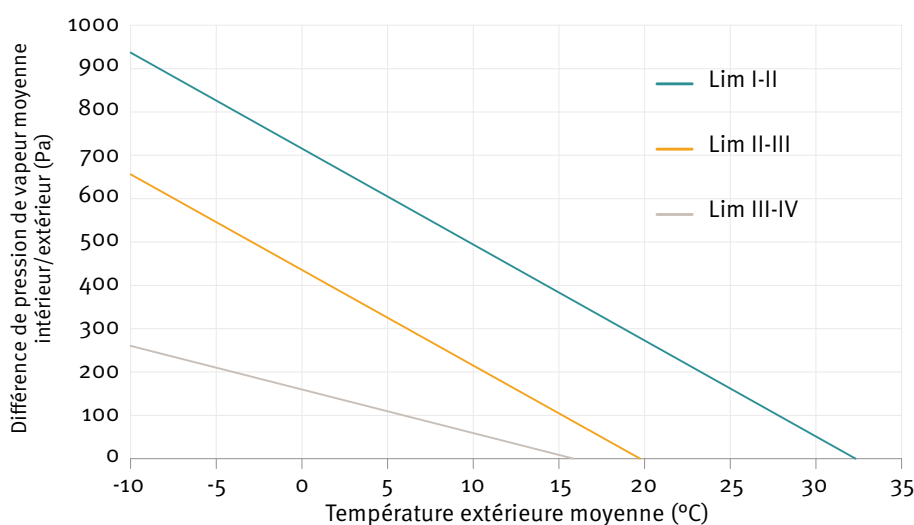


Fig. 54 Limites des classes de climat intérieur en fonction de la température extérieure et de la différence de pression de vapeur entre l'intérieur et l'extérieur mesurée pendant une période de 4 semaines.

<sup>(14)</sup> Cette même annexe fournit une approche simplifiée pour estimer la température et l'humidité relative régnant à l'intérieur de logements et de bureaux, lorsqu'on ne dispose d'aucune information ou mesure à ce sujet. Les valeurs sont déterminées sur la base de la température de l'air extérieur et en fonction du taux d'occupation.

### Exemple de détermination de la classe de climat intérieur

Dans le cadre de mesures effectuées pour évaluer l'efficacité de différents systèmes de ventilation, la température et l'humidité relative ont été mesurées durant quatre semaines dans deux habitations similaires, l'une ventilée naturellement de manière insuffisante, l'autre ventilée mécaniquement selon la norme. Les moyennes enregistrées sont de 56 % HR et 18,7 °C pour la première, et de 41 % HR et 20,0 °C pour la seconde. Les conditions climatiques extérieures mesurées durant la même période sont de 88 % HR et 6,7 °C dans la région de la maison mal ventilée et de 92 % HR et 1,6 °C dans celle de la maison ventilée correctement.

#### Maison ventilée naturellement de façon insuffisante

- Pression de saturation de l'air correspondant à la température intérieure  $p_{100\%HR, 20\text{ °C}} = 2340,0\text{ Pa}$
  - Pression de vapeur intérieure  $p_i = p_{41\%HR, 20\text{ °C}} = 0,41 \cdot 2340,0 = 959,4\text{ Pa}$
  - Pression de saturation de l'air correspondant à la température extérieure  $p_{100\%HR, 1,6\text{ °C}} = 685,8\text{ Pa}$
  - Pression de vapeur extérieure  $p_e = p_{92\%HR, 1,6\text{ °C}} = 0,92 \cdot 685,8 = 630,9\text{ Pa}$
  - La différence de pression de vapeur entre l'extérieur et l'intérieur est égale à  $p_i - p_e = 959,4 - 630,9 = 328,5\text{ Pa}$ . Cette valeur doit être comparée aux valeurs limites entre les classes de climat intérieur pour une température extérieure de 1,6 °C (dernière colonne du tableau 11, p. 58) :
    - limite I-II =  $159 - 10 \cdot 1,6 = 143\text{ Pa}$
    - limite II-III =  $436 - 22 \cdot 1,6 = 401\text{ Pa}$ .
  - La différence de pression de vapeur mesurée (328,5 Pa) se situe entre ces deux limites.
- Classe de climat intérieur II.

#### Maison ventilée mécaniquement

- Pression de saturation de l'air correspondant à la température intérieure  $p_{100\%HR, 18,7\text{ °C}} = 2157,4\text{ Pa}$
  - Pression de vapeur intérieure  $p_i = p_{56\%HR, 18,7\text{ °C}} = 0,56 \cdot 2157,4 = 1208,1\text{ Pa}$
  - Pression de saturation de l'air correspondant à la température extérieure  $p_{100\%HR, 6,7\text{ °C}} = 981,9\text{ Pa}$
  - Pression de vapeur extérieure  $p_e = p_{88\%HR, 6,7\text{ °C}} = 0,88 \cdot 981,9 = 864,1\text{ Pa}$
  - La différence de pression de vapeur entre l'extérieur et l'intérieur équivaut à  $p_i - p_e = 1208,1 - 864,1 = 344,0\text{ Pa}$ .
  - Cette valeur doit être comparée aux valeurs limites entre les classes de climat intérieur pour une température extérieure de 6,7 °C (dernière colonne du tableau 11, p. 58) :
    - limite I-II =  $159 - 10 \cdot 6,7 = 92\text{ Pa}$
    - limite II-III =  $436 - 22 \cdot 6,7 = 289\text{ Pa}$
    - limite III-IV =  $713 - 22 \cdot 6,7 = 566\text{ Pa}$ .
  - La différence de pression de vapeur mesurée (344,0 Pa) se situe entre ces deux dernières limites.
- Classe de climat intérieur III.

## 6.2.2 CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES MATÉRIAUX

Lors de la conception de la toiture, il convient de tenir compte des caractéristiques du support, de l'isolant thermique, du pare-vapeur et de l'étanchéité. Les propriétés de l'isolation seront examinées en détail au chapitre 7, tandis que les écrans pare-vapeur sont traités ci-après.

Une première caractéristique des matériaux est le **coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau (intrinsèque)  $\mu$**  (sans unité). Des valeurs tabulées de la valeur  $\mu$  des matériaux sont reprises dans la norme NBN EN ISO 10456 [B53]. Le tableau 12 donne la valeur  $\mu$  de matériaux courants d'épaisseur usuelle.

Une seconde caractéristique est la **résistance à la diffusion de vapeur d'eau  $\mu d$  ou  $S_d$**  (en mètres), qui représente l'épaisseur d'air d'une perméabilité équivalant à celle de l'élément considéré. Elle est égale au facteur  $\mu$  multiplié par l'épaisseur du matériau en mètres (tableau 12). Une troisième caractéristique est la **résistance équivalente à la diffusion de vapeur d'eau  $(\mu d)_{eq}$**  ou résistance corrigée à la diffusion  $(\mu d)_{corr}$  (en mètres), qui représente la valeur  $\mu d$  modifiée par la prise en compte de la mise en œuvre. Celle-ci exerce en effet une influence sur les performances de la couche considérée (recouvrements de membranes collés/soudés ou non, joints ouverts ou non entre panneaux d'isolation, ...).

Les pare-vapeur peuvent être classés selon leur résistance équivalente/corrigée à la diffusion  $(\mu d)_{eq}$  ou

Tableau 12 Valeurs  $\mu$  et  $\mu_d$  de matériaux courants (\*).

Matériau ou gaz	$\mu$ [-]	Épaisseur [m]	$\mu_d$ [m]
Air	1	1	1
Béton (2200 kg/m <sup>3</sup> ) - sec	120	0,2	24
- humide	70	0,2	14
Bitume pur	50.000	0,003	150
Polyéthylène	100.000	0,0002	20
Verre cellulaire	$\infty$	0,2	$\infty$
Mousse de polyuréthane	60	0,2	12
Laine minérale	1	0,2	0,2
Polystyrène expansé	60	0,2	12
Polystyrène extrudé	150	0,2	30
PVC	15.000	0,0015	22,5
EPDM	65.000	0,0015	97,5

(\* Ces valeurs tabulées sont extraites de la NBN EN ISO 10456 [B53]. Pour les étanchéités synthétiques, elles sont issues du BRL 1511 [K1] et de données du marché, ou ont été calculées à l'aide de logiciels hygrothermiques.

$(\mu_d)_{corr}$  (m), qui dépend de la nature et de l'épaisseur de la couche de matériau ainsi que de la mise en œuvre (perforations, étanchéité des joints, ...).

On distingue quatre classes de pare-vapeur; celles-ci sont mentionnées au tableau 13 (p. 62), qui donne des informations relatives aux matériaux entrant dans la composition des pare-vapeur, ainsi qu'à leur résistance équivalente à la diffusion  $(\mu_d)_{eq}$  (pour la mise en œuvre, voir § 6.3, p. 64). Il s'agit de valeurs indicatives basées sur l'expérience, car il est très difficile d'estimer, voire de mesurer le  $(\mu_d)_{eq}$  ou  $(\mu_d)_{corr}$  de matériaux mis en œuvre. En effet, une discontinuité (perforation par une fixation, pli dans un recouvrement, ...) est susceptible d'entraîner une forte différence entre  $\mu_d$  et  $(\mu_d)_{corr}$  dans le cas d'un film en polyéthylène ou d'autres membranes minces. Pour cette raison, un film

en polyéthylène appartient au maximum à la classe de pare-vapeur E2 ( $5 \text{ m} \leq (\mu_d)_{corr} < 25 \text{ m}$ ), même si sa valeur  $\mu_d$  est élevée. Pour les matériaux autres que les feuilles PE (bitume ou membrane autoadhésive en aluminium, par exemple), la différence entre le  $\mu_d$  et le  $(\mu_d)_{eq}$  est moindre <sup>(15)</sup> (voir également [Les Dossiers du CSTC 2019/2.3](#)) [N5].

L'influence de la mise en œuvre est prédominante et il est délicat de quantifier la valeur  $(\mu_d)_{eq}$  d'un produit mis en œuvre, sauf éventuellement par des essais de très grandes dimensions.

La compatibilité des matériaux constitutifs du pare-vapeur et de l'étanchéité doit être vérifiée. Il n'est pas exclu de combiner un pare-vapeur synthétique à une étanchéité bitumineuse ou réciproquement, pour autant que les mesures nécessaires soient prises (relevés, compartimentage, etc.; cf. [NIT 244](#)) [C10]. Un pare-vapeur composé d'une feuille PE ne peut par exemple pas entrer en contact avec du bitume chaud. Si le pare-vapeur n'est pas compatible avec le matériau d'étanchéité (membrane PE et étanchéité bitumineuse, ou pare-vapeur bitumineux et étanchéité en PVC, par exemple), ses relevés seront arrêtés au niveau de la face supérieure de l'isolation, où ils seront maintenus contre le mur et y seront collés à partir d'une classe E2.

Les panneaux sandwichs à âme isolante appartiennent généralement, dès la fabrication, à la classe de pare-vapeur E1. Les dispositions relatives à la résistance au passage de la vapeur d'eau, à prendre en fonction de la classe de climat intérieur, sont précisées dans l'attestation d'aptitude à l'emploi des panneaux (des mesures doivent généralement être prises en face intérieure, comme rendre les joints entre panneaux étanches à l'air et à la vapeur). En classe de climat IV, ce type de panneau est exclu.

Les freine-vapeur hygrovariables ont une valeur  $\mu_d$  qui varie avec le taux moyen d'humidité ambiante (cf. figure 34, p. 36). Ils sont appliqués sous le support d'une toiture compacte (voir § 3.3.2, p. 36, et [Les Dossiers du CSTC 2012/2.6](#)) [M12] et permettraient un certain séchage du complexe toiture en été, tandis que

<sup>(15)</sup> Pour le lecteur souhaitant en savoir plus, un précédent article du CSTC donnait la formule suivante :

$$\mu_{eq} = \frac{1}{\frac{A_1}{A_1 + A_2} \cdot \frac{1}{\mu_1} + \frac{A_2}{A_1 + A_2} \cdot \frac{1}{\mu_2}} = \frac{A_1 + A_2}{\frac{A_1}{\mu_1} + \frac{A_2}{\mu_2}}, \text{ où } A_1 \text{ est la surface des ouvertures et } A_2 \text{ celle du matériau (en m}^2\text{), } \mu_1 \text{ la}$$

résistance à la diffusion de vapeur de l'air (1) et  $\mu_2$  celle du matériau. Si on l'utilise pour estimer, par exemple, le  $(\mu_d)_{eq}$  ou le  $(\mu_d)_{corr}$  d'une feuille PE de 0,2 mm perforée tous les 2 m<sup>2</sup> par une fixation mécanique mal positionnée et ensuite déplacée, on obtient, pour un  $\mu_d$  de 20 m, un  $(\mu_d)_{eq}$  ou un  $(\mu_d)_{corr}$  de 10 m, soit une valeur réduite de moitié.

Tableau 13 Matériaux courants pour pare-vapeur et leurs recouvrements.

Classe + $(\mu d)_{eq}$ <sup>(1)</sup>	Matériau	Remarques
<b>E1</b> ( $\geq 2$ à $< 5$ m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Film en PE <sup>(2)</sup> (épaisseur <math>\geq 0,2</math> mm) avec des recouvrements de 100 mm minimum.</li> <li>Aussi utilisables : tous les matériaux des classes 2, 3 et 4.</li> </ul>	Une couche d'adhérence ne peut pas être considérée comme un écran pare-vapeur à part entière, même sur un support continu.
<b>E2</b> ( $\geq 5$ à $< 25$ m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Films en PE <sup>(2)</sup> (épaisseur <math>\geq 0,2</math> mm) à joints collés et laminés d'aluminium à joints collés.</li> <li>Voile de verre bitumineux V 50/16.</li> <li>Voile de polyester bitumineux P 150/16.</li> <li>Aussi utilisables : tous les matériaux des classes 3 et 4.</li> </ul>	Les joints de recouvrement doivent toujours être collés ou soudés entre eux et aux autres éléments de construction.
<b>E3 <sup>(2)</sup></b> ( $\geq 25$ à $< 200$ m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bitume armé (V3, V4, P3 ou P4, ...) oxydé ou modifié (APP, SBS, ...).</li> <li>Aussi utilisables : tous les matériaux de classe 4.</li> </ul>	Les joints de recouvrement doivent toujours être collés ou soudés entre eux et aux autres éléments de construction.
<b>E4</b> ( $\geq 200$ m)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bitume armé d'une feuille métallique (ALU 3, ALU 4, par exemple).</li> <li>Pare-vapeur multicouche en bitume polymère (<math>\geq 8</math> mm).</li> <li>Pare-vapeur autoadhésif en aluminium <sup>(3)</sup></li> </ul>	Les joints de recouvrement doivent toujours être collés ou soudés entre eux et aux autres éléments de construction. La classe de pare-vapeur E4 nécessite une mise en œuvre sur un support continu <sup>(4)</sup> . Les perforations (par les vis de fixation, par exemple) ne sont pas admises.

(1)  $(\mu d)_{eq}$  est la résistance équivalente à la diffusion de vapeur et détermine la caractéristique de résistance à la vapeur d'une couche (de pare-vapeur), en tenant compte de sa mise en œuvre.  $[(\mu d)_{eq} = 1 \text{ m}]$  correspond à une couche d'air immobile d'une épaisseur de 1 m,  $[(\mu d)_{eq} > 200 \text{ m}]$  à un pare-vapeur "absolu".

(2) Il existe sur le marché des feuilles PE supposées appartenir à la classe E3, mais il est en pratique très difficile de les mettre en œuvre de manière à obtenir effectivement cette performance (plis dans les recouvrements, perforations par des fixations mécaniques, raccordement aux détails et relevés, ...). Si ces matériaux sont mis en œuvre sur un support sec en béton coulé *in situ*, il est recommandé de poser au préalable une protection mécanique (non-tissé de polyester, par exemple).

(3) Un soin particulier doit être apporté à la réalisation du recouvrement transversal sur un support en tôles d'acier profilées, pour assurer son étanchéité (interposition d'une bande de métal rigide pour former un support continu).

(4) Au minimum au droit des recouvrements longitudinaux et transversaux; en partie courante, cela dépend du matériau (résistance à la déchirure).

l'humidification en hiver serait limitée. Ces matériaux ne sont pas décrits en détail dans la présente Note d'information technique et ne sont en général pas appliqués par l'entrepreneur d'étanchéité.

### 6.2.3 QUALITÉ DU PARE-VAPEUR

Le tableau 14 présente les données moyennes calculées pour chaque type de pare-vapeur (E1, E2, E3, E4) en fonction des caractéristiques du support de toiture, de celles de l'isolation et de la classe de climat intérieur. Les données fournies dans ce tableau peuvent servir dans le cas où l'on ne souhaite pas procéder à des calculs plus détaillés.

Pour les bâtiments appartenant à la classe de climat intérieur IV, où règne une pression de vapeur annuelle moyenne  $p_i$  supérieure à 3000 Pa, il convient toujours

d'entreprendre une étude détaillée au cas par cas. Pour calculer les données du tableau 14, nous nous sommes basés sur les hypothèses suivantes :

- les calculs ont été effectués au moyen d'un logiciel de calcul dynamique (*Delphin*)
- nous avons utilisé les données climatiques enregistrées à Uccle (*Test Reference Year*)
- nous avons considéré des toitures moyennement exposées au soleil (avec ombrage par un mur orienté au nord) et présentant un coefficient d'absorption égal à 1. Signalons qu'une toiture non ombragée offre des résultats plus favorables (condensation interne moindre et séchage plus rapide des condensats éventuels)
- pour la pression de vapeur, nous avons pris en compte la limite supérieure de la classe de climat en question. Pour la classe de climat IV, cette pression est limitée à 3000 Pa; la température intérieure considérée varie entre 18 °C et  $(8 \text{ °C} + 0,8 \times T_{ext})$  en

Tableau 14 Classes de pare-vapeur pour toitures chaudes (pour la signification des abréviations, voir l'annexe 4, p. 149). Ces informations sont des données de conception moyennes utilisables en l'absence de calculs plus détaillés.

Support ou forme de pente	Classe de climat intérieur	PU/EPS		MW/ICB <sup>(1)</sup>		CG
		Technique de pose de l'étanchéité (cf. § 8.2.2.2, p. 88)				
		M <sup>(2)</sup>	L / T / P	M <sup>(2)</sup>	L / T / P	
Béton coulé <i>in situ</i> , éléments préfabriqués en béton <sup>(3)</sup> <sup>(4)</sup>	I à III	E3	E3	E3	E3	<sup>(5)</sup>
	IV	X	E4	X	E4	<sup>(6)</sup>
Voligeage ou panneaux à base de bois résistant à l'humidité, tôles profilées en acier <sup>(9)</sup>	I	–	–	–	–	–
	II	E1 <sup>(7)</sup>	E1 <sup>(7)</sup>	E2	E2	<sup>(5)</sup>
	III	E2	E2	E3	E3	<sup>(5)</sup>
	IV	X	E4	X	E4	<sup>(8)</sup>
Panneaux sandwichs autoportants	I à III	Voir § 6.2.2 (p. 60)				
	IV	Non autorisés				

X La fixation mécanique au travers du pare-vapeur n'est pas autorisée en classe de climat IV (voir § 6.3.2, p. 64).

<sup>(1)</sup> En cas d'isolant à base de perlite expansée (EPB), on conseille de toujours prévoir un pare-vapeur, étant donné la perte de cohésion du matériau en présence d'humidité, entraînant elle-même une perte d'adhérence de l'étanchéité qui y est collée/soudée.

<sup>(2)</sup> Afin d'éviter un effet de "pompage" résultant de l'action du vent ou d'une surpression dans le bâtiment (étanchéité soulevée aspirant contre elle l'air intérieur humide, qui risque de se condenser, puis de s'écouler vers l'intérieur par les joints du support de toiture), l'étanchéité à l'air du complexe toiture dont le support est perméable à l'air doit toujours être assurée, et ce de l'une des façons suivantes :

- par la pose d'une barrière d'étanchéité à l'air (pare-vapeur de classe E1 ou supérieure)
- par l'utilisation de panneaux d'isolation pourvus d'un parement (type aluminium ou voile de verre bitumé présent sur les deux faces) et d'épaulements sur les quatre bords, mis en œuvre sur un support permettant une bonne fermeture des emboîtements. Ces mêmes panneaux à bords droits ou coupés peuvent également assurer l'étanchéité à l'air du complexe toiture, pour autant que les joints entre les panneaux ainsi que les raccords avec les rives de toiture (voir la NIT 244) [C10] soient rendus étanches à l'air
- en rendant étanches à l'air les joints entre les éléments du support de toiture.

<sup>(3)</sup> Pour la rénovation des toitures munies d'un support étanche à l'air en béton sec ou en construction neuve dans le cas d'éléments préfabriqués suffisamment secs et sans béton de seconde phase, mais dont les joints sont rendus étanches à l'air (hourdis précontraints, éléments TT, ...), on ne prévoit pas de pare-vapeur dans les classes de climat intérieur I et II, et un pare-vapeur de classe E1 est nécessaire en classe III en présence d'une isolation en laine minérale.

<sup>(4)</sup> Dans les classes de climat intérieur I, II et III, on ne pose pas d'écran pare-vapeur complémentaire sur les supports de toiture en béton léger (béton cellulaire, par exemple) sans couche d'isolation thermique complémentaire, si la membrane d'étanchéité est adhérente ou lestée. Dans le cas contraire, il est nécessaire d'obturer les joints entre les éléments en béton. En classe de climat IV, une condensation résiduelle annuelle peut entraîner des dégâts aux éléments (corrosion des armatures, par exemple), de sorte qu'il est indispensable de poser une isolation complémentaire sur un pare-vapeur non perforé.

<sup>(5)</sup> La pose d'un écran pare-vapeur n'est pas requise si les joints entre les panneaux d'isolation sont remplis de bitume ou de colle à froid (voir l'attestation d'aptitude à l'emploi pour cette application) ou si le matériau est appliqué en plusieurs couches.

<sup>(6)</sup> Pour les bâtiments de la classe de climat IV, il convient d'examiner avec le fabricant de l'isolation si un pare-vapeur est nécessaire.

<sup>(7)</sup> La résistance à la diffusion de vapeur des panneaux d'isolation pourvus d'un parement (type aluminium ou voile de verre bitumé présent sur les deux faces) équivaut au minimum à celle offerte par un pare-vapeur de classe E1, lorsque les panneaux sont à épaulement sur les quatre bords et qu'ils sont mis en œuvre sur un support permettant une bonne fermeture des emboîtements.

<sup>(8)</sup> Puisque le support est discontinu dans ce cas, un écran d'étanchéité à l'air est nécessaire (type P3, par exemple).

<sup>(9)</sup> Le support doit être continu au droit des recouvrements du pare-vapeur pour que ceux-ci puissent être rendus étanches : joints longitudinaux sur les nervures supérieures et joints transversaux réalisés sur une tôle ou bande supplémentaire bien tendue (voir Les Dossiers du CSTC 2010/2.6) [N3].

classes de climat intérieur I à III, et est égale à 25 °C maximum en classe IV

- pour la classe de pare-vapeur, nous avons utilisé la limite inférieure de l'épaisseur équivalente de diffusion définie, excepté pour la classe E3 en cas de support en béton où une valeur  $\mu_d = 100$  m a été

utilisée (pour mieux correspondre à la réalité)

- pour l'évaluation des quantités de condensation, nous avons utilisé le critère de 200 g/m<sup>2</sup> de condensat maximum et avons considéré qu'une condensation résiduelle annuelle n'était pas tolérée (voir annexe 2, p. 147).



Fig. 55 Pare-vapeur autoadhésif en aluminium.

L'expérience a montré que ces hypothèses et les données reprises au tableau 14 sont sécuritaires. Notons qu'une vérification par un calcul Glaser est également possible et aboutit aux mêmes recommandations.

### 6.3 POSE

La technique de pose du pare-vapeur dépend :

- du type de pare-vapeur
- du type de support

- du mode de pose de l'isolation et de l'étanchéité
- des raccords.

#### 6.3.1 TYPES DE PARE-VAPEUR

Pour la fixation au support, on dispose des possibilités décrites au tableau 15.

Le choix final du matériau et la méthode de fixation sont déterminés sur la base de calculs ou du tableau 13 (p. 62) ainsi qu'en fonction de la technique de pose de l'isolation et de l'étanchéité.

#### 6.3.2 TYPE DE SUPPORT DE TOITURE

Le support de toiture (chapitre 4, p. 41) détermine également la technique de pose du pare-vapeur. Voici les différents types de pose possibles en fonction du support :

- supports en bois :
  - écrans pare-vapeur bitumineux : ils peuvent être posés en indépendance, collés ou fixés mécaniquement (voir tableau 15). Ils peuvent également être autoadhésifs. Pour les classes de climat I à III, le pare-vapeur peut être fixé par clouage et/ou maintenu en place par le biais de la fixation mécanique (vissage) de l'isolation et/ou de l'étanchéité (interdiction de perforez le pare-vapeur en classe IV)
  - écrans pare-vapeur synthétiques : ils sont généralement posés en indépendance sur les planches et fixés mécaniquement en même temps que l'isolant et l'étanchéité; ils peuvent aussi être lestés ou parfois collés
  - freine-vapeur hygrovariables : dans le cas des toitures dites compactes (cf. § 3.3.2, p. 36), le freine-vapeur est posé sous le support (figure 33, p. 36). Ce travail n'est généralement pas réalisé par l'entrepreneur d'étanchéité. Pour plus

Tableau 15 Modes de fixation possibles des écrans pare-vapeur les plus courants.

Matériau	En indépendance	Soudage partiel ou total <sup>(1)</sup>	Collage	Auto-adhésif	Fixation mécanique <sup>(2)</sup>
Membrane de polyéthylène (≥ 0,2 mm)	X	–	(X)	–	–
Membrane bitumineuse armée d'un voile de verre ou d'aluminium	X	X	X	X	–
Membrane bitumineuse armée de polyester	X	X	X	X	X

*Légende* : X = autorisé (cf. également tableau 13, p. 62); (X) = autorisé mais peu courant; – = non autorisé.

<sup>(1)</sup> Un collage au bitume chaud est également possible, mais est déconseillé pour des raisons de sécurité.  
<sup>(2)</sup> Pour les classes de climat intérieur I à III (voir tableau 14, p. 63).



CSTC – Jeroen Peys

Fig. 56 Pose d'un pare-vapeur bitumineux sur un support en tôles d'acier profilées.

d'informations, on consultera [Les Dossiers du CSTC 2012/2.6 \[M12\]](#)

- **tôles profilées en acier** : écrans pare-vapeur posés en indépendance, collés, autoadhésifs, soudés ou fixés mécaniquement (via l'isolation et/ou l'étanchéité). Les lés sont posés parallèlement aux ondes des tôles (voir figure 56). Tous les joints doivent être pourvus d'un recouvrement; les joints longitudinaux doivent se trouver sur la nervure supérieure du support. Les précautions nécessaires seront prises pour assurer une bonne adhérence des joints transversaux et éviter le fléchissement de la bande inférieure, par exemple en plaçant une fine plaque d'appui ou une bande de membrane autoadhésive supplémentaire bien tendue sous le recouvrement. À partir d'une classe de pare-vapeur E2, les joints entre lés et avec d'autres éléments de construction doivent être collés ou soudés. On sera particulièrement attentif, lors des travaux, à ce que l'écran pare-vapeur ne soit pas dégradé au droit des creux des ondes. Il y a donc lieu de recourir à des membranes disposant d'une bonne résistance à la déchirure, comme les films de polyéthylène d'une épaisseur  $\geq 0,2$  mm et les membranes avec armature de polyester. Pour les classes de climat I à III,

les perforations résultant des fixations mécaniques au-dessus des ondes ne menacent pas de façon significative les performances d'étanchéité à l'air et à la vapeur du pare-vapeur. En classe de climat IV, le pare-vapeur sera posé par collage sur un support continu au minimum au droit des recouvrements longitudinaux et transversaux; en partie courante, le mode de collage dépendra du matériau (résistance à la déchirure)

- **autres supports** :
  - la pose en indépendance se pratique uniquement en cas d'étanchéité ou d'isolation lestée ou fixée mécaniquement
  - l'adhérence totale et l'adhérence partielle (collage à chaud ou à froid) sont admises dans tous les cas. La pose de membranes autoadhésives est généralement difficile, sauf dans certains cas moyennant des précautions particulières (voir les consignes du fabricant et l'encadré à la page suivante).

En présence d'un pare-vapeur bitumineux, on commence en principe par appliquer un vernis d'adhérence. Lorsque le support de toiture est composé d'éléments fractionnés, on pose au préalable des

### Pare-vapeur autoadhésifs

Les pare-vapeur autoadhésifs sont la plupart du temps destinés aux supports en tôles d'acier profilées. Certains produits peuvent être posés sur d'autres supports (bois, béton, certains matériaux d'isolation, ...). Le stockage ne doit pas dépasser le délai prescrit par le fabricant (généralement 6 à 12 mois après fabrication) et des précautions doivent être prises durant l'entreposage (ne pas empiler les palettes, éviter l'exposition au rayonnement UV et aux températures élevées).

En ce qui concerne la mise en œuvre, il convient de respecter certaines conditions relatives au support (planéité, état de siccité, propreté, température, primaire éventuel, ...), à la température ambiante et à la procédure à suivre.

Pour plus d'informations au sujet des membranes autoadhésives, on consultera [Les Dossiers du CSTC 2010/2.6](#) [N3].

bandes en indépendance sur les joints transversaux du support (voir [NIT 244](#), § 7.6) [C10].

Si l'écran pare-vapeur doit servir d'étanchéité provisoire (parfois pendant plusieurs mois), il convient d'empêcher la formation de cloques entre le pare-vapeur et le support (humide) en le posant par collage partiel (ceci entraîne une réduction de la résistance au vent).

### 6.3.3 POSE DE L'ISOLATION ET DE L'ÉTANCHÉITÉ

Si l'étanchéité (lestée) est posée en indépendance, l'écran pare-vapeur peut également être posé en indépendance; pour la facilité de la mise en œuvre (soulèvement par le vent), un collage partiel est cependant indiqué.

Si l'isolation et/ou l'étanchéité sont fixées mécaniquement, l'écran pare-vapeur peut être posé en indé-

pendance; les considérations émises au § 7.3.4 (p. 81) sont également d'application.

Lorsque l'isolation et l'étanchéité sont posées en adhérence, l'écran pare-vapeur doit, lui aussi, être posé en adhérence, de manière telle que le complexe toiture puisse reprendre les dépressions engendrées par le vent.

### 6.3.4 RACCORDS

Au droit des rives, des relevés et des pénétrations ou émergences en toiture, l'écran pare-vapeur et l'étanchéité doivent être raccordés entre eux selon les principes illustrés aux figures 50, 51 et 52 (p. 57) ainsi qu'à la figure 57; l'isolation se trouve donc enserrée entre l'écran pare-vapeur et l'étanchéité (pour autant qu'ils soient compatibles; dans la négative, consulter la [NIT 244](#), § 5.4) [C10].

Pour plus d'informations au sujet de l'exécution des détails, on consultera utilement la [Note d'information technique n° 244](#) [C10].

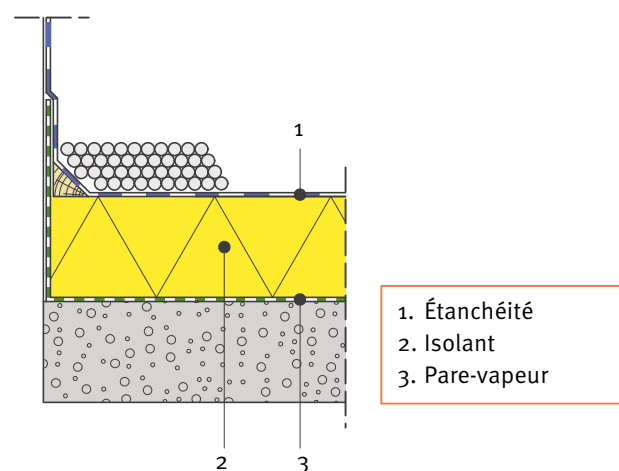


Fig. 57 Raccordement du pare-vapeur et de l'étanchéité.



# ISOLATION DE LA TOITURE

Lorsque la toiture est bien isolée, la transmission de chaleur et les mouvements d'origine thermique du support sont limités, si bien qu'une condensation superficielle est moins à craindre. Cette situation permet d'accroître le confort thermique dans le bâtiment, mais aussi de réduire la consommation d'énergie, les émissions de gaz à effet de serre, la pollution de l'air et la production de déchets (cendres, déchets nucléaires provenant des centrales électriques, ...).

La réglementation sur la performance énergétique des bâtiments (PEB) exige généralement de calculer le niveau d'isolation thermique du bâtiment et de la toiture. Une valeur U maximale de 0,24 W/(m<sup>2</sup>.K) est actuellement requise pour les bâtiments résidentiels et non résidentiels en Flandre, en Wallonie et à Bruxelles, mais des niveaux plus élevés peuvent être nécessaires pour respecter les autres exigences de cette réglementation. Pour en apprendre davantage sur le sujet et connaître les dernières exigences en vigueur, on consultera le site de l'Antenne Normes 'Énergie et climat intérieur' du CSTC ([www.normes.be](http://www.normes.be)).

## 7.1 CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIAUX D'ISOLATION POUR TOITURES

Les caractéristiques importantes des matériaux d'isolation sont non seulement le coefficient de conductivité thermique (valeur  $\lambda$ ), mais également la cohésion, la stabilité dimensionnelle, le comportement mécanique, le comportement vis-à-vis de la température, du feu, de l'humidité et des agents chimiques. Les matériaux d'isolation pour toitures disposant d'une attestation d'aptitude à l'emploi <sup>(16)</sup> possèdent des propriétés contrôlées.

### 7.1.1 POUVOIR ISOLANT

#### 7.1.1.1 Valeur $\lambda$

Le coefficient de conductivité thermique d'un matériau ( $\lambda$ ), exprimé en W/(m.K), est la quantité de chaleur qui traverse, en régime stationnaire, une couche de matériau de 1 m d'épaisseur et de 1 m<sup>2</sup> de section, par unité de temps et par degré de différence de température entre les deux faces du matériau.

La valeur  $\lambda$  déclarée d'un matériau isolant est une valeur déterminée statistiquement sur la base de mesures; elle doit être représentative du produit pour une durée de vie raisonnable dans des conditions normales, c'est-à-dire compte tenu de la variabilité de la production et de l'éventuel vieillissement du produit. Un grand nombre de matériaux isolants étant couverts par des spécifications techniques harmonisées (normes ou autres), la valeur  $\lambda_D$  (valeur déclarée) est généralement mentionnée dans la déclaration de performance associée au marquage CE.

Dans les calculs de performance thermique, c'est cependant la valeur utile  $\lambda_U$  de la conductivité thermique qui doit être prise en considération. Celle-ci tient compte des conditions habituelles de température et d'humidité dans lesquelles se trouve l'isolation. Pour la plupart des matériaux isolants, la valeur déclarée correspond à une température de 23 °C et une humidité relative de 50 %; elle peut être assimilée à la valeur utile. Dans le cas contraire (valeur déclarée correspondant au matériau sec, par exemple), il faut convertir la valeur déclarée en valeur utile en appliquant les règles de la norme NBN EN ISO 10456 [B53].

<sup>(16)</sup> Le terme 'attestation d'aptitude à l'emploi' auquel nous nous référons ici et dans la suite du texte porte sur les agréments de type ATG, BENOR ou équivalent, développés, délivrés et gérés par une tierce partie experte, indépendante et objective. Ces agréments décrivent l'application des matériaux isolants en toiture plate. Il ne s'agit donc pas d'agréments de produit de type ATG H, qui ne se prononcent pas sur l'application. L'annexe 3 (p. 148) traite plus en détail des notions d'ATG, de BENOR et d'ETA.

Si le fabricant n'a pas fixé de valeur déclarée selon la norme précitée, il est possible d'avoir recours à des valeurs  $\lambda_U$  forfaitaires (plus élevées) telles que celles reprises dans la réglementation PEB ou dans la norme NBN B 62-002 [B7]. L'utilisation de tels produits, sans marquage ni contrôle des caractéristiques, n'est toutefois pas conseillée.

### 7.1.1.2 Valeur R du matériau isolant et de la toiture

La résistance thermique R d'une couche de matériau, exprimée en  $(m^2.K)/W$ , est déterminée par le rapport entre l'épaisseur de la couche et la valeur  $\lambda$  du matériau ( $d/\lambda$ ). La résistance totale  $R_{tot}$  d'une toiture se calcule comme suit :

$$R_{tot} = R_{se} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_{isol}}{\lambda_{isol}} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + R_{si}$$

où

$R_{se}$  = la résistance thermique d'échange à la surface extérieure, égale à  $0,04 (m^2.K)/W$

$d_n$  = l'épaisseur de la couche 'n' (m)

$\lambda_n$  = la valeur  $\lambda$  de la couche 'n' ( $W/(m.K)$ ); dans le cas de matériaux isolants, elle est appelée  $\lambda_D$  (ou  $\lambda_U$ )

$R_{si}$  = la résistance thermique d'échange à la surface intérieure, égale à  $0,10 (m^2.K)/W$ .

### 7.1.1.3 Valeur U

Le coefficient de transmission thermique d'une paroi isolée ou d'une toiture (U), exprimé en  $W/(m^2.K)$ , indique la quantité de chaleur qui traverse  $1 m^2$  de paroi ou de toiture, par seconde et par degré de différence de température entre l'intérieur et l'extérieur.

#### Remarque

Le coefficient de transmission thermique des parois de bâtiment (valeur U) est calculé selon les normes NBN EN ISO 6946 [B52] et NBN B 62-002 [B7]. Cette dernière définit des conventions et des règles pratiques valables pour les conditions climatiques qui règnent normalement en Belgique (température et taux d'humidité). Dans le cadre de la réglementation PEB, c'est le Document de référence pour les pertes par transmission qui s'applique au calcul de la valeur U [S7].

La valeur U d'une toiture est égale à  $\frac{1}{R_{tot}}$  (en  $W/m^2.K$ ), avec  $R_{tot}$  la résistance thermique totale de la toiture.

Des corrections sont à appliquer sur la valeur U pour tenir compte de l'effet des éventuelles fixations mécaniques traversant la couche isolante ( $\Delta U_f$ ) et, en cas de toiture inversée, de l'immersion de l'isolant sous l'eau de pluie ( $\Delta U_p$ ). La valeur corrigée  $U_c$  se calcule comme suit :

$$U_c = U + \Delta U_f + \Delta U_p$$

où

$$\Delta U_f = \alpha \cdot \frac{\lambda_f \cdot A_f \cdot n_f}{d_{isol}} \left( \frac{R_1}{R_T} \right)^2$$

$$\Delta U_p = p \cdot f \cdot x \cdot \left( \frac{R_1}{R_T} \right)^2$$

$R_T$  = la résistance thermique totale de la toiture ( $m^2.K/W$ )

$R_1$  = la résistance thermique de l'isolation ( $m^2.K/W$ )

$\alpha$  =  $0,8 d_1/d_{isol}$ , avec  $d_1$  la longueur de la fixation (vis) traversant l'isolation et  $d_{isol}$  l'épaisseur d'isolation

$\lambda_f$  = la conductivité thermique des vis ( $W/(m.K)$ ), qui équivaut à  $50 W/(m.K)$  dans le cas de l'acier au carbone

$A_f$  = la section de la tige des vis ( $m^2$ )

$n_f$  = le nombre de vis par  $m^2$

$p$  = les précipitations moyennes (mm/jour), égales à  $2 mm/jour$  en Belgique

$f \cdot x$  = des facteurs caractérisant la quantité de pluie atteignant la membrane (-) et la perte de chaleur accrue due à l'écoulement de l'eau sous l'isolant ( $W \cdot jour/(m^2.K \cdot mm)$ ), soit  $0,04$  pour une couche d'isolation unique située au-dessus de la membrane, avec joints droits et couverture perméable à l'air (gravier, par exemple).

Dans le cas particulier des toitures dites compactes (voir § 3.3.2, p. 36), où l'isolation est insérée entre les poutres du plancher en bois, il convient également de tenir compte de la fraction 'bois' interrompant la couche d'isolation (voir [CSTC-Contact 2006/1](#)) [V1].

Pour plus d'informations sur le calcul de la valeur U, le lecteur intéressé consultera la norme NBN B 62-002 [B7] et l'annexe D de la norme NBN EN ISO 6946 [B52].

### 7.1.1.4 Exemple de calcul de la valeur U

Supposons une toiture chaude composée :

- d'un support en béton armé de  $150 mm$  d'épaisseur ( $\lambda = 2,5 W/(m.K)$ )
- d'un écran pare-vapeur bitumineux de  $3 mm$  d'épaisseur ( $\lambda = 0,23 W/(m.K)$ )
- d'un matériau isolant de  $160 mm$  d'épaisseur ( $\lambda_D = 0,035 W/(m.K)$ )
- d'une étanchéité bitumineuse de  $4 mm$  d'épaisseur ( $\lambda = 0,23 W/(m.K)$ ).

Sa valeur R est égale à :

$$\begin{aligned} R_{\text{tot}} &= 0,04 + \frac{0,150}{2,500} + \frac{0,003}{0,230} + \frac{0,160}{0,035} + \frac{0,004}{0,230} + 0,10 \\ &= 0,04 + 0,06 + 0,013 + 4,57 + 0,017 + 0,10 \\ &= 4,80 \text{ m}^2\text{K/W.} \end{aligned}$$

On peut donc en déduire la valeur de U, soit :

$$U = \frac{1}{4,80} = 0,21 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K).}$$

Cet exemple montre que la valeur U d'une toiture est généralement déterminée en grande partie (à 95 %, dans ce cas) par la couche isolante, sans laquelle elle serait beaucoup plus élevée (4,35 W/(m<sup>2</sup>·K) ici), ce qui correspondrait à une transmission de chaleur à travers la toiture plus de 20 fois supérieure.

La figure 58 donne la valeur U indicative des toitures comportant une isolation de 50 à 250 mm d'épaisseur et une valeur  $\lambda_D$  respectivement de 0,025, 0,035 et 0,045 W/(m·K).

Il convient également de tenir compte des nœuds constructifs (voir l'annexe 1 de la NIT 244) [C10]. Plus la valeur U diminue, plus l'impact des nœuds constructifs est important.

### 7.1.2 COHÉSION INTERNE DES MATÉRIAUX D'ISOLATION

Comme nous l'avons signalé au § 2.1.2 (p. 10), le vent exerce sur une toiture plate un effet de succion qui

peut être très élevé et dépend de divers paramètres : localisation, hauteur, catégorie de terrain, étanchéité à l'air du support et des façades, zone de la toiture (partie courante, rive ou angle).

La résistance au vent d'un complexe de toiture dépend fortement de l'interaction des forces entre les différents éléments qui le composent (support/pare-vent/isolation/étanchéité) et de la technique de fixation. En principe, c'est la couche la plus imperméable à l'air qui reprend l'action du vent, c'est-à-dire en général l'étanchéité.

Lorsque l'étanchéité est en adhérence totale ou partielle, l'effet de succion du vent se transmet aux couches sous-jacentes. Pour déterminer la résistance au vent du complexe de toiture, il convient d'examiner la résistance au vent de chacune des couches. La valeur la plus basse sera déterminante. En présence d'étanchéités posées en adhérence sur une couche d'isolation, la résistance mécanique de cette dernière (cohésion) devient alors souvent décisive.

### 7.1.3 MOUVEMENTS THERMIQUES

Une toiture plate peut être soumise à des fluctuations de température très importantes. Celles-ci provoquent un gradient de température dans le matériau d'isolation (cf. figures 20 et 21, p. 30), qui peut induire un risque de déformation. La plupart des panneaux isolants étant peu rigides, une technique de pose appropriée est susceptible de prévenir ce phénomène. Celui-ci peut également être évité par l'emploi d'un lestage ou d'une étanchéité de teinte claire qui per-

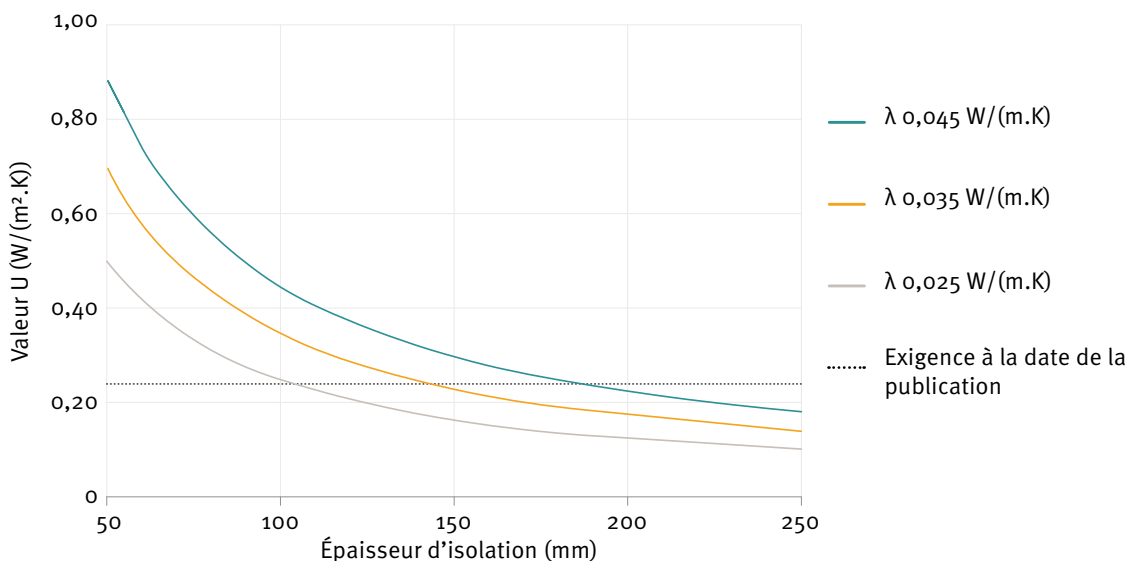


Fig. 58 Coefficient de transmission thermique U d'une toiture isolée munie d'un support en béton.

mettront de limiter les températures de surface. Des simulations réalisées au CSTC montrent que, pour la configuration étudiée, une température maximale de 76,1 °C atteinte à la surface d'une étanchéité noire est réduite à 57,9 °C dans le cas d'une étanchéité grise et à 41,7 °C pour une étanchéité blanche.

Il convient par conséquent de choisir un type de panneau isolant et un mode de pose de l'étanchéité tels que les mouvements susmentionnés ne puissent pas provoquer de dommages (voir chapitre 8, p. 83, et attestation d'aptitude à l'emploi du produit).

#### 7.1.4 STABILITÉ DIMENSIONNELLE DES ISOLANTS

Certains matériaux d'isolation peuvent se déformer à la suite d'un cintrage (PU, PF) ou d'un retrait résiduel après fabrication (EPS, XPS). Les attestations d'aptitude à l'emploi des produits et les méthodes de mise en œuvre imposent des limites à ces déformations. Il est possible de les réduire ou de les éviter en appliquant un parement adapté, en utilisant des panneaux de petites dimensions et/ou en stockant les matériaux en milieu contrôlé (en usine) (§ 7.2, p. 73).

#### 7.1.5 TEMPÉRATURE DE MISE EN ŒUVRE

Certains matériaux d'isolation (certaines mousses synthétiques, par exemple) ne résistent pas toujours aux températures élevées du bitume chaud, de l'air chaud ou d'une flamme directe (fonte de l'isolant, décollement du parement, boursoufflures dans l'étanchéité). Pour parer à ces phénomènes, il convient d'utiliser des parements appropriés (par exemple, recouvrement plus large permettant de souder sans que la flamme atteigne l'isolation) et de poser correc-

tement l'étanchéité : adhérence partielle ou pose en indépendance, fixation mécanique ou collage à froid (colle ou membrane autoadhésive).

Les prescriptions de pose mentionnées dans l'attestation d'aptitude à l'emploi (de type ATG pour une application en toiture, BENOR ou équivalent) du matériau d'isolation doivent être appliquées rigoureusement.

#### 7.1.6 COMPORTEMENT AUX SOLLICITATIONS MÉCANIQUES

L'étanchéité et l'isolation des toitures plates sont soumises à différentes sollicitations mécaniques :

- sollicitations statiques réparties (lestage, toiture verte, etc.)
- sollicitations statiques concentrées (plots, panneaux solaires, etc.)
- sollicitations dynamiques concentrées (circulation, panneaux solaires soumis à l'action du vent, chocs provoqués par la chute d'objets et la grêle, etc.).

On spécifie habituellement la résistance à la compression de l'isolation, selon le classement de l'UEAtc, par les lettres B, C, D [U9] (voir tableau 16). Cette classification fait toutefois l'objet de réserves, certains matériaux de classe D ne convenant par exemple pas pour une utilisation en toiture-parking. Il existe également une classification belge (UBAtc), qui fixe des critères de compressibilité pour les principaux types de matériaux isolants en fonction de leur utilisation (voir tableau 17).

On prévoira en outre des chemins de circulation dans les zones à trafic régulier, comme à proximité des installations techniques en toiture.

Tableau 16 Compressibilité des isolants selon le classement UEAtc.

Classe	Déformation	Température (*)	Sollicitation	Utilisation
A	≤ 10 % ≤ 15 %	23 et 80 °C (60) °C	20 kPa 20 kPa	Non applicable en toiture plate
B	≤ 5 %	80 (60) °C	20 kPa	Toiture uniquement accessible pour l'entretien (de la toiture elle-même).
C			40 kPa	Toiture accessible aux piétons. Peut être utilisée pour l'entretien fréquent d'équipements
D			80 kPa	Toiture accessible aux véhicules légers. Ne peut être utilisée que si le revêtement d'étanchéité est protégé par un dallage en béton ou autre

(\*) 60 °C au lieu de 80 °C sur les toitures munies d'une protection lourde.

Tableau 17 Compressibilité des principaux isolants selon le classement UBAtc (cf. annexe 4, p. 149, pour la signification des abréviations).

Classe	MW	EPS	PU	PF	EPB	CG	XPS	Utilisation
<b>P<sub>1</sub></b>	Pas d'application <sup>(1)</sup>							Toiture non accessible <sup>(1)</sup>
<b>P<sub>2</sub></b>	80/60 °C, 20 kPa, 2 jours (≤ 5 %) CS (10\Y) ≥ 40 kPa ≥ PL (5) 400	DLT(1) 5 ou DLT(2) 5 CS(10) ≥ 100 kPa	DLT(2) 5 CS (10\Y) ≥ 120 kPa	80/60 °C, 20 kPa, 2 jours (≤ 5 %) CS(Y) ≥ 120 kPa	DLT(1) 5 ou DLT(2) 5 CS (10\Y) ≥ 100 kPa ≥ PL (2) 400	CS(Y) 400 ≥ 400 kPa PL (P) 2	DLT(2) 5 CS (10\Y) ≥ 300 kPa	Toiture accessible aux piétons, uniquement pour l'entretien de la toiture (à l'exclusion des équipements exigeant un entretien fréquent)
<b>P<sub>3</sub></b>	80/60 °C, 40 kPa, 7 jours (≤ 5 %) CS (10\Y) ≥ 40 kPa ≥ PL (5) 500	DLT(1) 5 ou DLT(2) 5 CS(10) ≥ 120 kPa	DLT(2) 5 CS (10\Y) ≥ 120 kPa	80/60 °C, 40 kPa, 7 jours (≤ 5 %) CS(Y) ≥ 120 kPa	DLT(1) 5 ou DLT(2) 5 CS (10\Y) ≥ 150 kPa ≥ PL (2) 1000	CS(Y) 400 ≥ 400 kPa PL (P) 2	DLT(2) 5 CS (10\Y) ≥ 300 kPa	Toiture accessible aux piétons, pour des travaux d'entretien fréquents, tant à la toiture qu'aux équipements qui y sont installés, y compris toiture-jardin à végétation extensive
<b>P<sub>4</sub></b>	80/60 °C, 80 kPa, 7 jours (≤ 5 %) CS (10\Y) ≥ 80 kPa ≥ PL (5) 750	DLT(3) 5 CS(10) ≥ 150 kPa	DLT(3) 5 CS (10\Y) ≥ 120 kPa	80/60 °C, 80 kPa, 7 jours (≤ 5 %) CS(Y) ≥ 120 kPa	DLT(3) 5 CS (10\Y) ≥ 200 kPa ≥ PL (2) 1000	CS(Y) 600 ≥ 600 kPa PL (P) 1,5	DLT(2) 5 CS (10\Y) ≥ 300 kPa	Toiture soumise à des charges statiques uniformément réparties de 7,5 kN/m <sup>2</sup> maximum (toiture-jardin à végétation intensive, lestage lourd, etc.) <sup>(2)</sup>

#### Légende

DLT : stabilité dimensionnelle (exprimée en % de déformation) sous charge répartie pendant la période indiquée et à la température spécifiée.

CS (10\Y) : contrainte de compression pour une déformation de 10 % ou résistance à la compression (en kPa).

PL : charge concentrée occasionnant une empreinte déterminée. Par exemple : PL (5) 400 = charge concentrée de 400 N occasionnant une empreinte de 5 mm.

<sup>(1)</sup> La classe P<sub>1</sub> ne s'applique pas dans le cadre des agréments techniques ATG pour toitures plates.

<sup>(2)</sup> Les applications particulières soumises à des charges statiques plus élevées, à des charges concentrées ou à des charges dynamiques telles que des vibrations sont à étudier au cas par cas.

Dans le cas où la toiture est destinée à un usage impliquant des sollicitations spécifiques (terrasse, terrain de sport, ...), on peut adopter une approche similaire à celle définie dans la [Note d'information technique n° 253](#) [C12], qui propose des critères indicatifs quant aux caractéristiques mécaniques des isolants. À court terme, on conseille que la contrainte dans l'isolation ne dépasse pas :

- pour les matériaux déformables, la contrainte donnant lieu à une déformation égale à la plus petite des valeurs suivantes : 2 % ou la limite élastique
- pour les matériaux non ou très peu déformables, la résistance en compression multipliée par un facteur de sécurité (à déterminer par le fabricant).

À long terme (20 ans), on conseille de ne pas dépasser une déformation de 2 % [M8].

Si la toiture est utilisée en tant que terrasse, l'évalua-

tion des sollicitations se fera au cas par cas en fonction des charges appliquées (type d'utilisation) et de leur mode de transfert à l'isolant (type, épaisseur et rigidité du revêtement). Nous reprenons ci-dessous deux exemples traités dans la [Note d'information technique n° 253](#) [C12] (§ 2.1.1, figure 2 et tableau 1), étant entendu que les charges d'utilisation doivent être combinées aux autres charges s'appliquant en toiture telles que neige ou poids propre des matériaux :

- toiture utilisée comme terrasse de restaurant et munie d'un revêtement en dalles sur plots : dans ce cas, on se situe en classe d'utilisation C1 selon l'Eurocode 1 (NBN EN 1991-1-1) [B25] (espaces équipés de tables tels qu'écoles, cafés, restaurants ou salles de réception). Pour cette catégorie d'utilisation du sol, la norme précitée ainsi que son annexe nationale belge [B26] donnent des charges réparties et localisées  $q_k = 3 \text{ kN/m}^2$  et  $Q_k = 4 \text{ kN}$ . Ainsi, si

les dalles ont des dimensions de 60 cm x 60 cm et les plots un diamètre de 20 cm, le cas le plus défavorable sera celui où la charge localisée  $Q_k$  de 4 kN s'applique sur un coin de dalle et est entièrement reportée sur 1/4 de plot, soit sur 79 cm<sup>2</sup>. Cela donne lieu à une contrainte concentrée de 500 kPa appliquée sur l'isolation

- toiture utilisée comme terrain de sport et munie d'un revêtement en béton armé de 6 cm d'épaisseur : on se situe ici en classe d'utilisation C<sub>4</sub> selon l'Eurocode, et les charges s'appliquant sont  $q_k = 5$  kN/m<sup>2</sup> et  $Q_k = 7$  kN. La sollicitation la plus sévère est la charge ponctuelle de 7 kN qui s'exerce sur une surface carrée de 50 mm de côté (selon l'Eurocode et son annexe nationale). En supposant en première approximation (avant un calcul plus précis) une répartition à 45° dans la dalle en béton, la charge de 7 kN est reportée sur un carré de 17 cm de côté, soit environ 242 kPa appliqués sur l'isolation.

Pendant les travaux sur la toiture (travaux d'étanchéité ou autres), on prendra des dispositions (chemins de circulation, par exemple), afin de ne pas endommager les panneaux d'isolation ou l'étanchéité. On évitera en outre le transport et l'entreposage de matériaux impliquant des charges concentrées trop élevées sur les panneaux d'isolation.

On notera enfin que, sur les tôles profilées en acier, l'isolation remplit une fonction porteuse en pontant les ouvertures entre les nervures et que les sollicitations mécaniques soumettent dès lors les panneaux d'isolation à des contraintes supplémentaires.

### 7.1.7 COMPORTEMENT AU FEU

Les propriétés des matériaux en matière de comportement au feu sont détaillées au § 2.2 (p. 20).

### 7.1.8 COMPORTEMENT EN PRÉSENCE D'HUMIDITÉ

La présence d'humidité dans le matériau isolant diminue son pouvoir isolant et, occasionnellement, sa cohésion, l'adhérence des couches supérieures ainsi que d'autres caractéristiques mécaniques. Il convient à ce propos de distinguer les toitures inversées qui, par nature, ne sont pas affectées par l'humidité, des systèmes de toiture chaude qui le sont. Le séchage étant très lent sur ce dernier type de toiture, il y a lieu

de limiter au maximum l'humidification du matériau d'isolation (voir chapitre 12, p. 133).

L'isolation d'une toiture chaude peut s'humidifier de différentes manières :

- par l'**eau de pluie** pendant l'entreposage et la pose : pour éviter qu'elle atteigne les matériaux isolants, ceux-ci seront protégés durant le stockage et seront recouverts immédiatement par l'étanchéité avant chaque interruption de travail ainsi qu'en cas d'averse
- par des **fuites occasionnelles** : si des fuites devaient se produire malgré la pose correcte de matériaux d'étanchéité adéquats, elles devront être réparées au plus vite; le cas échéant, on remplacera les matériaux très humides. Il est recommandé de compartimenter la toiture lors de la conception et de la mise en œuvre, de manière à pouvoir plus facilement localiser une fuite et à limiter les dégâts dus à l'humidité (figures 50 à 52, p. 57)
- par l'**humidité de construction** et/ou la **condensation interne** <sup>(17)</sup> (voir § 6.1, p. 55) : si l'isolation est posée sur un support renfermant beaucoup d'humidité de construction (béton ordinaire, béton léger, ...), il faut prévoir un écran pare-vapeur pour éviter l'humidification de l'isolant par condensation interne. Une toiture dont le support est constitué de tôles profilées en acier peut, elle aussi, contenir de grandes quantités d'humidité dues à l'eau présente dans les nervures. Les dispositions nécessaires devront donc être prises pour permettre à cette eau de s'évacuer (perçement au point le plus bas, par exemple). Une quantité limitée de condensation pendant les mois d'hiver n'entraînera généralement pas de problèmes, à condition qu'il n'y ait pas de condensation résiduelle sur une base annuelle (plus de condensation en hiver que de séchage en été) et que les éléments constitutifs de la toiture (dont l'isolation) soient résistants à l'humidité. Si l'on doit s'attendre à une condensation résiduelle, un écran pare-vapeur s'impose (voir chapitre 6, p. 55). Dans le cas d'une toiture dite compacte en particulier, de l'humidité peut être apportée par le support en bois confiné entre l'étanchéité et le pare-vapeur (voir § 3.3.2, p. 36).

### 7.1.9 COMPORTEMENT EN PRÉSENCE D'AGENTS CHIMIQUES

Dans le cas d'une toiture chaude, l'isolation est susceptible d'être dégradée par la colle si elle n'est pas

<sup>(17)</sup> Pour plus d'informations sur la condensation, on consultera [Les Dossiers du CSTC n° 2017/2.5](#) et [n° 2016/4.6](#) [M3, M7] ainsi que les [Infiches n° 27](#) et [n° 28](#) [M1, M2].

compatible; il convient donc de vérifier la compatibilité entre les deux matériaux (voir également § 7.3.1, p. 77).

Sur une toiture inversée, le polystyrène extrudé (XPS) peut être endommagé par les hydrocarbures (toiture-parking, par exemple).

## 7.2 TYPES DE MATÉRIAUX D'ISOLATION POUR TOITURES

Nous considérons ici les matériaux d'isolation dont la valeur  $\lambda_D$  déclarée est tout au plus égale à  $0,065 \text{ W/(m.K)}$  et qui disposent d'une attestation d'aptitude à l'emploi (de type ATG ou équivalent).

Le choix de l'isolation dépend des autres éléments de la toiture, de sa composition, des sollicitations qui en résultent, de l'usage qui sera fait du toit (accessible ou non, ...), de considérations relatives à la durabilité et à l'environnement, ...

On distingue les groupes de matériaux suivants :

- les *mousses synthétiques* à cellules en majorité fermées :
  - polyuréthane et polyisocyanurate (PU)
  - polystyrène expansé (EPS)
  - polystyrène extrudé (XPS)
  - mousse phénolique (PF)
- les *matériaux minéraux* :
  - laine minérale (MW) (principalement laine de roche)
  - verre cellulaire (CG)
  - perlite expansée (EPB)
- les *matériaux d'origine végétale* (moins fréquents) comme le liège (ICB).

On peut rencontrer d'autres matériaux et systèmes sur une toiture plate, tels que les mortiers isolants avec panneaux d'isolation intégrés ou plus rarement les panneaux de fibres de bois, le polyuréthane projeté, la cellulose et les matériaux en vrac pour les toitures dites compactes ainsi que les panneaux d'isolation sous vide. Ces matériaux, peu fréquents, ne disposent généralement pas d'attestation d'aptitude à l'emploi.

Comme il est expliqué plus loin, ces matériaux ont chacun des propriétés spécifiques qui les destinent à certaines applications plutôt qu'à d'autres. Tant la fabrication que la pose de l'isolation et de l'étanchéité sont déterminantes à cet égard. Certaines applications

exigent donc que l'on consulte l'attestation d'aptitude à l'emploi de l'isolation.

### 7.2.1 MOUSSES SYNTHÉTIQUES

#### 7.2.1.1 Polyuréthane (PU)

L'évaluation des panneaux de polyuréthane ou de polyisocyanurate (PU) s'effectue selon la norme de produit NBN EN 13165 [B37]. Le polyuréthane se caractérise par un pouvoir isolant élevé :  $\lambda_D \approx 0,022$  à  $0,029 \text{ W/(m.K)}$  <sup>(18)</sup>.

Les panneaux en PU pour toitures plates sont presque toujours surfacés soit d'un voile de verre bitumé (voir figure 59) ou minéralisé, soit d'un parement en aluminium (multicouche ou non). Le choix du parement est déterminé par le type d'étanchéité et sa technique de pose. Le PU possède une cohésion interne élevée, mais l'adhérence du parement est également déterminante pour la résistance au vent du complexe (si l'étanchéité est posée en adhérence).

La pose en adhérence totale à chaud (soudage à la flamme ou par collage au bitume chaud) d'une étanchéité bitumineuse n'est pas admise sur un isolant PU, car il en résultera un cloquage. Il convient dès lors d'opter pour une pose à froid ou en adhérence partielle.

Les panneaux de PU peuvent être sujets à des déformations (cintrage, retrait, ...). Ceci explique parfois que les bords des panneaux se dessinent à travers l'étanchéité (problème principalement esthétique).

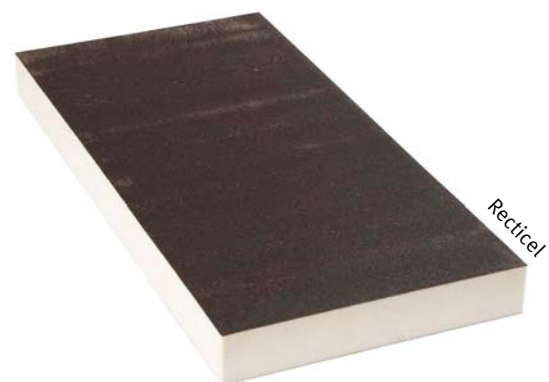


Fig. 59 Panneau en polyuréthane surfacé d'un voile de verre bitumé.

<sup>(18)</sup> Selon un inventaire dressé au moment de la rédaction (documentation et certificats de produits prévus pour une application en toiture plate).

Les déformations sont maîtrisées par l'utilisation de produits et de méthodes de pose appropriés décrits dans l'attestation d'aptitude à l'emploi du matériau, notamment :

- par le recours à des produits dotés d'un parement adapté
- dans le cas d'une pose en indépendance ou par collage, par l'usage de panneaux de plus petites dimensions
- en cas de fixation mécanique, par l'utilisation d'un nombre suffisant de fixations en fonction de la taille des panneaux (souvent plus que ce qui est nécessaire pour reprendre l'action du vent)
- en cas de pose à la colle bitumineuse :
  - par un complément de fixations mécaniques pour empêcher le mouvement des panneaux durant le temps de prise de la colle
  - par une fixation appropriée de l'étanchéité, excluant par exemple le soudage en adhérence totale (non autorisé sur un isolant PU) ou le soudage, même partiel sur un PU collé à la colle bitumineuse (le délai de séchage important de ces colles implique un risque de cintrage du panneau dû à la température de mise en œuvre durant la période où le collage n'est pas encore effectif).

Récemment, des cas de dégâts ont été constatés aux acrotères de toitures plates isolées avec des panneaux PU (de divers types et divers fabricants). La cause exacte n'en est pas encore connue, mais des mesures de prévention sont proposées dans [Les Dossiers du CSTC 2022/2.4 \[N6\]](#).

### 7.2.1.2 Polystyrène expansé (EPS)

L'évaluation des panneaux de polystyrène expansé (EPS) s'effectue selon la norme de produit NBN EN 13163 [B35]. Ces panneaux (voir figure 60) ont une valeur  $\lambda_D \approx 0,031$  à  $0,045$  W/(m. K). Ils peuvent être sujets à des déformations (retrait), dont la plus grande partie survient directement après la production (retrait résiduel lié à la fabrication). Ces déformations peuvent toutefois être limitées en utilisant des panneaux suffisamment stables (retrait résiduel), comme prévu dans les attestations d'aptitude à l'emploi spécifiques aux toitures. Sur les toitures plates, on applique uniquement des panneaux EPS présentant un comportement amélioré au feu de classification européenne E (dénomination commerciale 'SE').

Le retrait résiduel est également limité lorsqu'on a recours à des produits et à des méthodes de pose bénéficiant d'une attestation d'aptitude à l'emploi, car on utilise dans ce cas des matières premières spé-

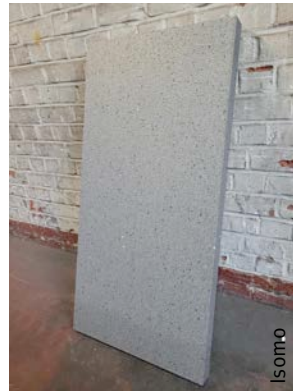


Fig. 60 Panneau de polystyrène expansé.

cifiques et/ou parce que les panneaux ont été entreposés suffisamment longtemps et sont donc stabilisés avant la livraison.

L'EPS ne peut pas être exposé de façon prolongée à des températures supérieures à 70 °C; c'est la couleur de l'étanchéité et la couche de lestage éventuelle qui détermineront si de telles températures peuvent être atteintes. De même, l'EPS doit être protégé des températures élevées causées par la pose de l'étanchéité (parement épais, parement avec chevauchement, recouvrements d'étanchéité plus larges si soudés, ...).

### 7.2.1.3 Polystyrène extrudé (XPS)

L'évaluation des panneaux de polystyrène extrudé (XPS) s'effectue selon la norme de produit NBN EN 13164 [B36]. Le polystyrène extrudé ( $\lambda_D \approx 0,027$  à  $0,040$  W/(m. K)) se caractérise par une structure cellulaire fermée et une surface d'extrusion qui empêchent l'absorption d'humidité. Ce matériau est le seul à pouvoir être appliqué dans les toitures inversées (§ 3.1.2, p. 30), pour lesquelles il existe également des attestations d'aptitude à l'emploi. L'application en toiture chaude n'est actuellement pas prévue vu le risque de déformation (stabilité dimensionnelle). Les panneaux XPS sont généralement pourvus, à leur périphérie, de rainures et languettes ou d'épaulements (figure 61).



Fig. 61 Panneaux de polystyrène extrudé.

#### 7.2.1.4 Mousse phénolique (PF)

L'évaluation des panneaux de mousse phénolique (PF) s'effectue selon la norme de produit NBN EN 13166 [B38]. Un panneau à base de mousse phénolique possède une structure cellulaire fermée, un bon comportement au feu et un faible coefficient de conductivité thermique ( $\lambda_D \approx 0,021$  à  $0,022$  W/(m. K)) <sup>(19)</sup>.

Si ces panneaux étaient autrefois proposés en toiture plate, l'expérience a montré qu'ils ne pouvaient être placés que sous les étanchéités de toiture lestées ou fixées mécaniquement.

Toute humidification de l'isolation survenant pendant la mise en œuvre ou par condensation interne risque de provoquer une corrosion des fixations ou des supports en tôles d'acier profilées : les vis doivent être au minimum conformes à la classe de résistance à la corrosion 2 (selon l'essai de l'UEAtc comprenant 15 cycles Kesternich/EOTA) ou être en acier inoxydable.

Les panneaux peuvent également être sujets au gauchissement. On peut toutefois limiter ce phénomène en ayant recours à des produits et des méthodes de pose adaptés (parement adéquat et contrôlé) et/ou à des panneaux de petites dimensions.

Étant donné les inconvénients précités, ce type de panneau est actuellement déconseillé en toiture chaude.

## 7.2.2 MATÉRIAUX D'ORIGINE MINÉRALE

### 7.2.2.1 Laine minérale (MW)

L'évaluation des panneaux de laine minérale (MW) s'effectue selon la norme de produit NBN EN 13162 [B34]. Les panneaux d'isolation en laine de roche (voir figure 62) ont une valeur  $\lambda_D \approx 0,038$  à  $0,043$  W/(m.K). Ils se caractérisent par un comportement favorable au feu, une bonne isolation acoustique (masse élevée et possibilité de créer un système de masse-ressort-masse) et une bonne stabilité thermique.

Leurs performances mécaniques (compressibilité/circulabilité) et leur résistance au vent (cohésion) dépendent de leur masse volumique, de la qualité de la fabrication (orientation des fibres), des différentes finitions (parement en voile de verre, voile de verre bitumé, imprégnation de bitume, ...) ainsi que de la technique



Fig. 62 Pose de panneaux de laine minérale.

de pose des panneaux isolants et de l'étanchéité (voir attestation d'aptitude à l'emploi). Ainsi, la cohésion sera plus critique dans le cas d'une laine de roche collée par plots ou par bandes, et la circulabilité sera meilleure pour un panneau disposant d'une couche supérieure plus dense. Un trafic important sur l'isolant peut entraîner une perte de cohésion et son affaissement (voir chapitre 12, p. 133). Les caractéristiques mécaniques doivent être vérifiées et des chemins de circulation doivent être prévus entre les installations.

### 7.2.2.2 Verre cellulaire (CG)

L'évaluation des panneaux de verre cellulaire (CG) s'effectue selon la norme de produit NBN EN 13167 [B39]. Le verre cellulaire (figure 63, p. 76) a une valeur  $\lambda_D \approx 0,036$  à  $0,050$  W/(m. K). Il se caractérise par sa grande résistance à la compression et son étanchéité élevée à la vapeur. Il n'exige habituellement pas d'écran pare-vapeur (voir tableau 14, p. 63), à condition que le matériau soit enrobé de bitume ou de colle sur toutes ses faces. L'obtention de cette qualité est toutefois conditionnée par le soin apporté à la pose.

La pose du verre cellulaire requiert une attention particulière. Sa friabilité nécessite qu'il soit appliqué sur un support rigide doté d'une finition lisse (exigences de planéité plus strictes, voir tableau 9, p. 43) et que l'entrepreneur d'étanchéité prévoie une quantité suffisante d'adhésif (bitume, colle) en dessous et au-dessus des panneaux ainsi que dans les joints (notamment pour éviter le cloquage de l'étanchéité, voir chapitre 12, p. 133).

<sup>(19)</sup> A l'heure actuelle, il n'existe pas de panneaux PF aptes à être utilisés en toiture plate.



Fig. 63 Panneau de verre cellulaire.

On limitera la flexion des structures porteuses en tôles profilées en acier pour éviter la rupture du verre cellulaire ( $1/240^e$  de la portée pour une profondeur d'onde  $\leq 90$  mm, au lieu de  $1/300^e$  habituellement).

### 7.2.2.3 Perlite expansée (EPB)

L'évaluation des panneaux de perlite expansée (EPB) s'effectue selon la norme de produit NBN EN 13169 [B40]. Ces panneaux ( $\lambda_D \approx 0,050$  W/(m.K)) se caractérisent par une résistance élevée à la compression et un bon comportement au feu.

Une exposition prolongée à l'humidité (condensation à la surface de contact entre la perlite et l'étanchéité, par exemple) affecte la cohésion interne de l'isolant et donc l'adhérence de l'étanchéité qui y est collée ou soudée le cas échéant. La résistance au pelage ou la résistance au vent du complexe s'en trouve par conséquent altérée (risque de décollement de l'étanchéité). Ainsi, le critère de condensation indiqué au tableau 40 (p. 147) pour les matériaux résistant à l'humidité ne s'applique pas à la perlite expansée, de sorte qu'un pare-vapeur sera toujours nécessaire. Vu la difficulté d'éviter toute condensation, une pose par fixation mécanique ou par lestage de l'étanchéité est préférable.

### 7.2.3 AUTRES MATÉRIEAUX D'ISOLATION

Les mortiers isolants parfois utilisés pour réaliser une forme de pente isolante (avec panneaux d'isolation intégrés) sont traités aux § 3.3.3 et § 5.2.6 (p. 37 et p. 52).

On rencontre également des éléments de toiture autoportants sous forme de panneaux sandwichs possédant une armature ou une autre forme de renforcement.

Ces panneaux exigent des techniques de fixation appropriées lorsqu'ils sont posés sur des fermes et des solives; ils nécessitent en outre une pose soignée au niveau des nœuds constructifs, de l'écran pare-vapeur, etc. Ils ne seront pas étudiés davantage dans le cadre de la présente Note d'information technique (voir documentation ou attestation d'aptitude à l'emploi).

Les autres matériaux et systèmes évoqués ci-après sont rarement utilisés en toiture plate. Ils ne disposent généralement pas d'attestation d'aptitude à l'emploi, et l'expérience à leur égard est relativement limitée :

- le **liège (ICB)** ( $\lambda \approx 0,040$  W/(m. K)) est un matériau d'isolation d'origine végétale. L'évaluation des panneaux de liège s'effectue selon la norme de produit NBN EN 13170 [B41]
- les **panneaux de fibres de bois (WF)** sont évalués selon la norme de produit NBN EN 13171 [B42]
- les **matériaux isolants en vrac** tels que la cellulose ou la laine minérale sont utilisés dans les toitures dites compactes (voir § 3.3.2, p. 36), où l'isolation est appliquée au sein de la structure portante en bois
- les **panneaux d'isolation sous vide (VIP)** constitués d'un noyau de silice confiné dans un film multicouche ont une conductivité thermique plus faible que celle des isolants classiques (de l'ordre de  $0,0010-0,014$  W/mK), ce qui permet de limiter les épaisseurs appliquées. Les caractéristiques du matériau peuvent être altérées en cas de défaut (perforation). Ces produits peuvent être appliqués seuls ou en combinaison avec un isolant classique
- les **systèmes d'isolation en polyuréthane projeté *in situ*** sont déconseillés sur les toitures plates, en raison des expériences négatives (impossibilité d'y appliquer correctement une étanchéité, en particulier si l'on doit y circuler) (voir chapitre 12, p. 133).

## 7.3 POSE DE L'ISOLATION

Avant de procéder à la pose de l'isolation, on placera dans la plupart des cas un écran pare-vapeur (chapitre 6, p. 55).

Les panneaux d'isolation peuvent être mis en œuvre de différentes façons. On trouvera ci-après une description des diverses techniques et de leur application. Le mode de pose dépend essentiellement de la composition de toiture (support, écran pare-vapeur, type d'isolation, étanchéité et couche de protection) ainsi que de l'action du vent. Quelle que soit la technique choisie, on place (la première couche de) l'étanchéité immédiatement après avoir posé les panneaux d'isolation, ce qui signifie qu'à la fin de la journée de

travail, les panneaux d'isolation doivent être complètement protégés (figures 50 à 52, p. 57).

Les panneaux doivent être posés de manière bien jointive, sans engendrer de tension. La pose en plusieurs couches est surtout réservée aux fortes épaisseurs (> 150 mm) dans les toitures chaudes (elle n'est actuellement pas autorisée sur les toitures inversées). L'application en deux couches à joints alternés réduit l'influence des joints.

Pour les isolants fixés mécaniquement, un facteur correctif doit être appliqué à la valeur U (cf. § 7.1.1.3, p. 68) pour tenir compte de l'effet des fixations traversant la couche d'isolation.

De même, dans le cas d'une toiture inversée, une correction doit être appliquée sur la valeur U pour tenir compte de l'effet de l'eau susceptible de ruisseler sous ou entre les panneaux (cf. § 7.1.1.3, p. 68). Ce ruissellement peut être réduit par des techniques validées consistant à installer un non-tissé étanche à la pluie entre l'isolation et le lestage. Cette méthode permettrait de ne pas devoir appliquer de facteur correctif, car le ruissellement serait considéré comme négligeable.

En présence de tôles profilées en acier, l'épaisseur de l'isolant, l'espace entre les nervures et la rigidité des tôles doivent être compatibles (cf. § 4.2.2.6, p. 47).

### 7.3.1 POSE PAR COLLAGE À FROID

Le collage à froid peut s'effectuer au moyen de colle bitumineuse (§ 7.3.1.1) ou de colle synthétique (§ 7.3.1.2, p. 78). La compatibilité avec le support et l'isolation doit toujours être vérifiée.

La quantité de colle est à adapter en fonction de l'action du vent. Si cette dernière est importante, il faut soit prévoir une surface de collage plus étendue, soit opter pour une fixation mécanique en remplacement de la colle ou pour un lestage en complément (voir l'attestation d'aptitude à l'emploi de la colle en ce qui concerne la résistance au vent).

#### 7.3.1.1 Colles bitumineuses à froid (C)

Les propriétés et l'utilisation des colles bitumineuses à froid diffèrent selon le type de produit. La mise en œuvre de la colle et la quantité à utiliser dépendent de la nature du support, de l'isolation et de l'action du vent sur la toiture. On se conformera aux consignes du fabricant de la colle et de l'attestation d'aptitude à l'emploi.

Les colles bitumineuses à froid sont appliquées sur un support préalablement dépoussiéré et dégraissé, soit sur toute la surface (figure 64, p. 78), soit par points ou par bandes régulièrement répartis.

Tableau 18 Méthodes envisageables pour la pose de l'isolation (voir l'annexe 4, p. 149, pour la signification des abréviations).

Support	Toiture chaude				Toiture inversée
	PU, EPS	CG	EPB	MW	XPS
Béton (préfabriqué, coulé en place, dalle mixte acier-béton, ...), béton de pente, béton cellulaire, étanchéité ou pare-vapeur bitumineux, panneaux en matières végétales ou en fibres organiques ou minérales assemblées au moyen d'un liant, multiplex, panneaux de particules, voliges en bois <sup>(1)</sup>	C Cs L V B <sup>(2)</sup> <sup>(3)</sup>	C Cs  B <sup>(2)</sup>	C  L V B <sup>(2)</sup>	C Cs L V B <sup>(2)</sup>	L <sup>(4)</sup>
Tôles profilées en acier	C Cs V	C Cs  B	  V	C Cs V	–

#### Légende

C : colle bitumineuse à froid – Cs : colle synthétique – L : pose en indépendance (étanchéité lestée) – V : fixation mécanique par vis – B : bitume chaud

- (1) En l'absence de pare-vapeur sur les voliges en bois, l'isolation peut uniquement être fixée mécaniquement; si l'on opte pour une autre technique, il convient au préalable de fixer mécaniquement une membrane armée de polyester (P3, par exemple).  
 (2) Sur des supports fractionnés, les joints entre les panneaux doivent avoir été préalablement rendus étanches (au moyen de bandes de pontage ou du pare-vapeur, par exemple).  
 (3) Avec parement adapté à la température élevée de pose du bitume chaud.  
 (4) Uniquement sur une étanchéité (toiture inversée).



Fig. 64 Application de colle bitumineuse à froid.

Certaines colles à froid restent plastiques sous le matériau isolant durant un long laps de temps (plusieurs mois). Le délai de prise dépend du type de colle (un ou deux composants, type de solvant, ...) et des matériaux en contact (voir la documentation du produit). Au cours de cette période, le pouvoir adhésif n'est pas complètement atteint et l'isolation risque de glisser sur le support, voire d'être arrachée par le vent.

### 7.3.1.2 Colles synthétiques à froid (Cs)

Par colles synthétiques, on entend les colles mono-composant au polyuréthane (1C-PU) s'appliquant sous forme de mousse ou sous forme liquide, les colles bicomposant au polyuréthane (2C-PU) et les colles MS-polymères apparues plus récemment.

Les directives des fabricants et de l'attestation d'aptitude à l'emploi (en matière de température, d'humidité, etc.) doivent être scrupuleusement respectées lors de la pose. Ainsi, l'utilisation d'une colle mono-composant nécessite une température et une humidité de l'air et du support suffisantes pour permettre une expansion correcte. Les bidons de colle doivent être conservés à une température suffisante; ils ne peuvent donc pas être stockés sur la toiture en hiver.

Avec certaines colles, les panneaux d'isolation ne peuvent pas être soumis trop rapidement à la circulation, afin que le contact ne soit pas rompu avant le durcissement de la colle.

La pose s'effectue généralement en adhérence partielle (par bandes parallèles ou en forme de serpents) selon les consignes du fabricant de la colle et/ou de l'isolation. Contrairement aux colles bitumineuses, les colles synthétiques à froid forment un assemblage rigide ou élastique qui permet d'éviter tout déplacement de l'isolation (cf. § 7.3.1.1, p. 77).

Les [Dossiers du CSTC 2018/2.5 \[M10\]](#) donnent plus d'informations sur le collage des panneaux d'isolation à l'aide de colle PU.

Avec les colles MS-polymères, la durée de prise est parfois plus longue que celle des colles PU, selon l'humidité de l'air et la perméabilité des couches collées.

### 7.3.2 COLLAGE AU BITUME CHAUD (B)

Le bitume le plus couramment employé est le bitume chaud soufflé 85/25 ou 110/30. Selon le support, il peut être nécessaire d'appliquer au préalable un vernis d'adhérence.

La pose consiste à couler une couche continue de bitume sur la surface du support (support de toiture ou écran pare-vapeur bitumineux) et à presser les panneaux isolants dans le bitume encore chaud. Il faut veiller à appliquer une quantité suffisante de bitume et à poser immédiatement les panneaux d'isolation, avant que le bitume ne durcisse et ne perde son pouvoir adhésif.

Le bitume se prête moins à une application sur tôles profilées en acier (refroidissement rapide du bitume d'adhérence, surtout par temps froid). En cas de collage au bitume chaud sur un tel support, on ne sera généralement pas dispensé de prévoir un pare-vapeur en classe de climat I à III. Le verre cellulaire permettra toutefois d'obtenir de bons résultats, à condition que sa mise en œuvre soit soignée. Les panneaux de verre cellulaire sont plongés dans du bitume chaud de type 110/30 et appliqués directement sur la tôle profilée en acier préalablement pourvue d'un vernis d'adhérence.

Le bitume ne convient pas aux supports constitués de voliges (infiltration du bitume entre les joints), sauf s'ils sont recouverts d'un pare-vapeur.

### 7.3.3 FIXATION MÉCANIQUE

La [Note d'information technique n° 239 \[C8\]](#) traite en détail de la fixation mécanique des isolants et des étanchéités. Bien qu'elle concerne principalement les supports en tôles d'acier profilées, nombre de ses dispositions sont applicables aux autres supports.

Une isolation fixée mécaniquement doit posséder une résistance suffisante au poinçonnement (quel que soit le support) et à la flexion (sur les tôles d'acier profilées) (cf. § 4.2.2.6, p. 47, et le tableau 10 de la [NIT 239](#)).

Cette méthode convient à tous les matériaux d'isolation, sauf au verre cellulaire.

La technique utilisée consiste à poser l'isolation sur le support (support de toiture ou écran pare-vapeur) et à la fixer à l'aide de vis et de plaquettes de répartition ou de manchons synthétiques. Ces éléments, décrits en détail dans la [Note d'information technique n° 239](#), doivent être compatibles avec les propriétés mécaniques de l'isolation, et ce notamment pour éviter que les plaques de répartition s'enfoncent ou que les vis perforent l'étanchéité lorsqu'on circule sur une isolation souple, que l'enfoncement des plaques dans un matériau isolant rigide provoque une importante précontrainte ou que des plaquettes trop petites poinçonnent l'isolation ou endommagent son parement (voir également le chapitre 12, p. 133).

Les manchons synthétiques permettent de réduire les déperditions thermiques (dont l'influence relative est d'autant plus importante en cas de forte épaisseur d'isolation) et d'éviter la perforation de l'étanchéité par les vis lorsqu'on circule sur une isolation souple.

Le nombre de points de fixation est déterminé par calcul et dépend notamment de l'action du vent, des propriétés mécaniques du panneau d'isolation, de la présence d'un écran pare-vapeur (qui influence la distribution de la pression dans le complexe – cf. [NIT 239](#)), des dimensions et du type d'ancrage (plaquette, fixation télescopique, ...), du type de vis et de la méthode de fixation de l'étanchéité.

Compte tenu de l'interaction entre la fixation de l'isolant et celle de l'étanchéité, on distingue deux méthodes de fixation mécanique en toiture :

- fixation mécanique des panneaux d'isolation et collage ou soudage de l'étanchéité sur l'isolation (figure 65 A), ou soudage de l'étanchéité sur des plaquettes revêtues (figure 65 B)
- fixation mécanique de l'étanchéité, l'isolation étant fixée par le biais de l'étanchéité et éventuellement par des fixations complémentaires (figure 65 C-D).

Si l'on fixe mécaniquement l'étanchéité dans les joints (figure 65 C) tout en utilisant des lés plus larges que les panneaux d'isolation, certaines rangées de panneaux ne seront pas fixées ou le seront insuffisam-

(suite du texte en p. 81)

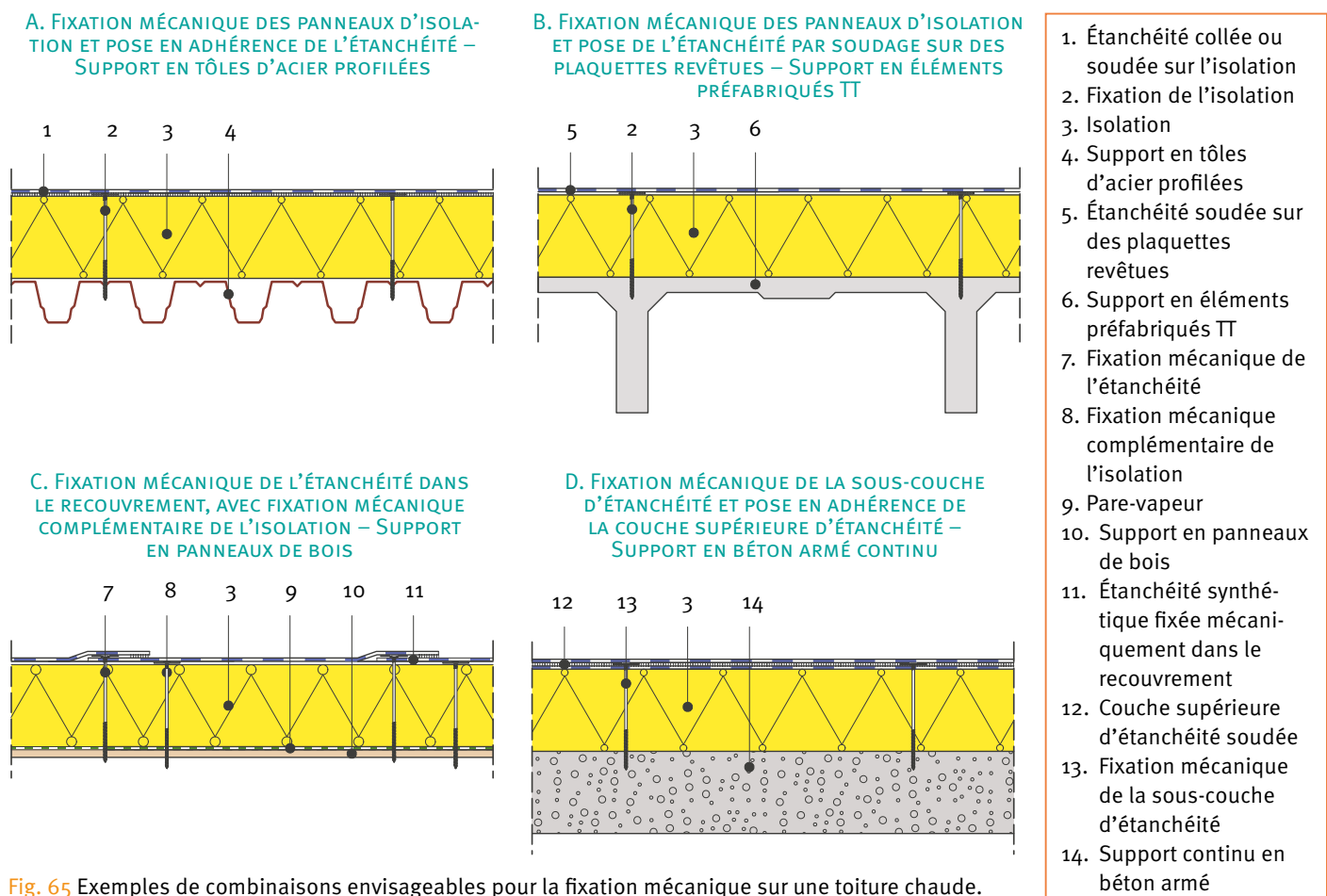


Fig. 65 Exemples de combinaisons envisageables pour la fixation mécanique sur une toiture chaude.

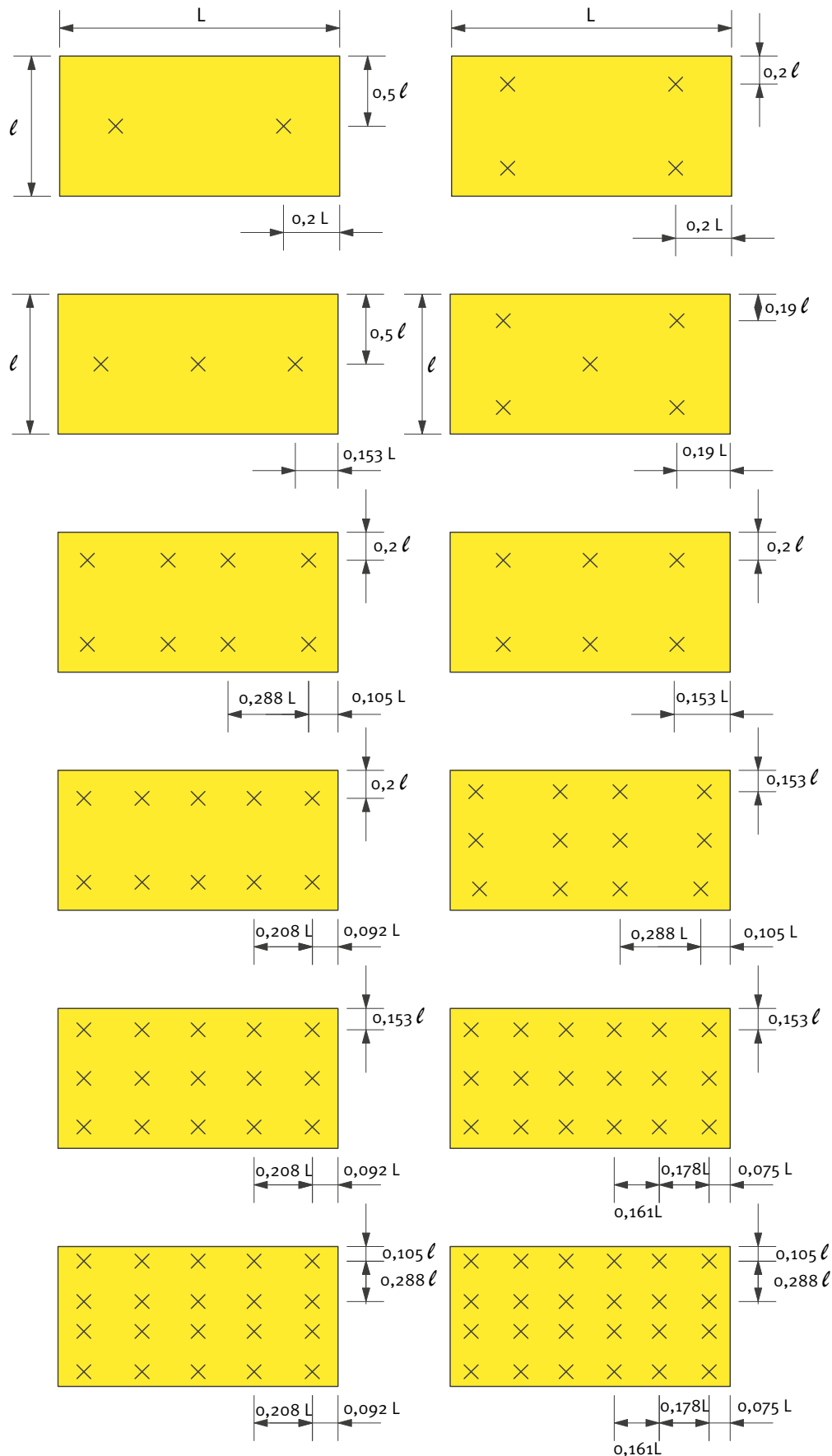


Fig. 66 Répartition idéale des vis sur un panneau d'isolation.

(suite de la p. 79)

ment. Il faut donc prévoir des fixations supplémentaires, et ce également pour garantir la stabilité dimensionnelle des panneaux (voir l'attestation d'aptitude à l'emploi concernant le nombre minimum de fixations par panneau).

Les fixations doivent être réparties de la manière la plus homogène possible afin que les charges soient distribuées uniformément. La répartition idéale des vis sur le panneau d'isolation est illustrée à la figure 66. On évitera de disposer des points de fixation sur le bord des panneaux ( $\leq 100$  mm). Il n'est donc pas permis de placer une fixation dans le joint de manière telle que la plaquette de répartition chevauche deux panneaux. Des exigences supplémentaires peuvent s'appliquer, par exemple, pour éviter le cintrage des panneaux (distance maximale au bord stipulée dans l'attestation d'aptitude à l'emploi), qui devront également être prises en compte. Il conviendra de trouver le meilleur compromis entre les différentes exigences.

Il ne sera pas toujours possible de s'en tenir strictement à la répartition idéale représentée à la figure 66 (différence entre les modules de la tôle profilée en acier ou des éléments en béton préfabriqués et ceux de l'isolation et de l'étanchéité, précision de la mise en œuvre). Le nombre requis de fixations par unité de surface doit dans tous les cas être respecté. Des exemples de schémas de répartition des fixations sur tôles d'acier sont illustrés aux figures 50 et 51 de la NIT 239 [C8].

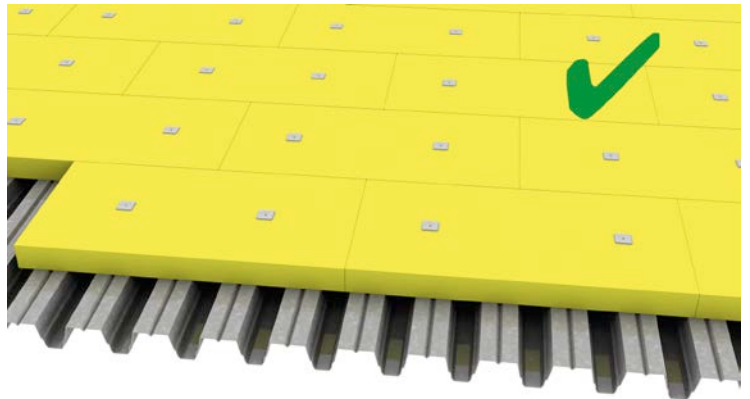
En présence de tôles d'acier profilées, il y a lieu de tenir compte des deux points suivants :

- un joint continu (dans l'isolation) parallèle au sens des tôles crée une charnière qui surcharge l'étanchéité à cet endroit. Une pose des panneaux d'isolation à joints alternés, perpendiculairement au sens des tôles rigidifie le support de toiture et limite la sollicitation de l'étanchéité (voir la figure 67)
- la tenue des parties de l'isolation en porte-à-faux et son comportement sous charges concentrées à mi-distance entre deux appuis doivent être vérifiés (voir l'attestation d'aptitude à l'emploi).

Si on applique plusieurs couches d'isolation, la fixation mécanique présente l'avantage de permettre une fixation simultanée des différentes couches.

Dans le cas d'un support en béton, la fixation doit s'effectuer dans le support en béton de structure plutôt que dans la forme de pente en béton non structural (béton mousse, béton léger, chape, ...). Pour des éléments préfabriqués de type TT, on fixe de préférence dans l'âme des éléments, afin d'éviter l'effritement du béton vers l'intérieur du bâtiment.

#### A. BONNE SOLUTION : POSE DES PANNEAUX D'ISOLATION EN QUINCONCE, PERPENDICULAIREMENT AU SENS DES TÔLES



#### B. MAUVAISE SOLUTION : POSE DES PANNEAUX D'ISOLATION EN QUINCONCE, PARALLÈLEMENT AU SENS DES TÔLES

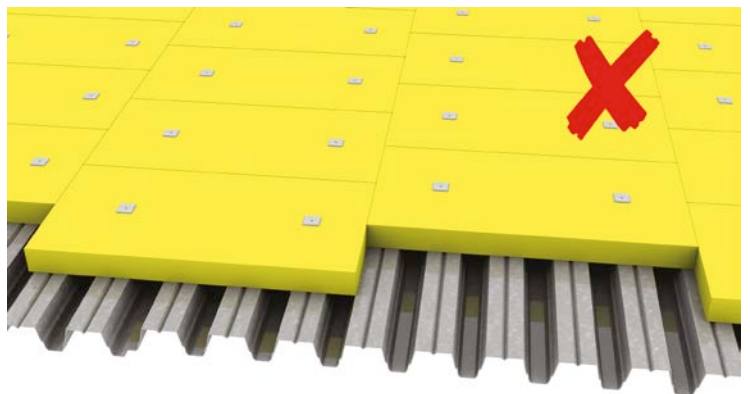


Fig. 67 Exemple de pose correcte (A) et de pose incorrecte (B) de l'isolation sur des tôles profilées en acier.

Des essais de résistance au vent réalisés selon la norme NBN EN 16002 [B51] (à laquelle renvoie l'EAD 030351-00-0402 – anciennement ETAG 006) [E2] permettent de déterminer la charge admissible par fixation pour la configuration testée. Des extrapolations vers d'autres configurations (notamment d'autres supports) sont possibles, pour autant que la résistance caractéristique à un effort axial de la nouvelle configuration (combinaison système de fixation mécanique du même type + autre support, avec vis adaptée) soit supérieure ou égale à la résistance caractéristique par fixation de la configuration testée. La résistance à l'effort axial doit être déterminée selon l'annexe de l'EAD 030351-00-0402.

### 7.3.4 POSE DE L'ISOLATION EN INDÉPENDANCE (L)

La pose de l'isolation en indépendance est en principe possible sur les toitures chaudes et les toitures inversées.

Sur les toitures chaudes, cette méthode convient à tous les matériaux d'isolation (à l'exception du verre cellulaire, fixé au moyen de bitume ou de colle) situés sous une étanchéité posée en indépendance et lestée. Si l'isolation choisie est sujette au cintrage, il convient d'utiliser des panneaux de petites dimensions (en concertation avec le fabricant).

Pour éviter que l'étanchéité ne soit soulevée par le vent pendant la pose, l'entrepreneur peut prévoir un lestage temporaire (immédiatement après la pose de l'étanchéité).

Sur une toiture inversée, les panneaux XPS pourvus de rainures et languettes ou d'épaulements sont posés en indépendance sur l'étanchéité et lestés. Il est recommandé d'appliquer une couche de désolidarisation (filtre perméable à la diffusion de vapeur) entre le lestage et l'isolation afin que les fins granulats ne pénètrent pas dans les joints des panneaux. Certains plastomères nécessitent la pose d'une membrane de désolidarisation entre le revêtement d'étanchéité et l'isolation en XPS, de manière à éviter une migration des plastifiants (voir les spécifications techniques des fabricants).

# 8

## ÉTANCHÉITÉS DE TOITURE

### 8.1 GÉNÉRALITÉS

#### 8.1.1 TYPES D'ÉTANCHÉITÉS

L'étanchéité des toitures plates est réalisée au moyen de membranes ou feuilles bitumineuses ou synthétiques (ces dernières sont également dénommées feuilles d'étanchéité plastiques et élastomères dans la norme des produits), de bâches synthétiques préfabriquées ou de produits mis en œuvre sous forme liquide. Les couvertures métalliques ne sont pas traitées dans la présente Note d'information technique (voir à ce sujet la [NIT 266](#)) [C15].

Les étanchéités bitumineuses (§ 8.2, p. 85) peuvent être constituées de bitume polymère ou de bitume oxydé (ce dernier uniquement comme sous-couche); elles sont toujours armées (voile de verre, polyester, ...) et sont appliquées en une ou deux couches (voire davantage).

Les étanchéités synthétiques (§ 8.3, p. 96) se composent d'élastomères, d'élastomères thermoplastiques ou de plastomères avec ou sans armature et/ou sous-façage. Elles sont appliquées en une seule couche.

Les étanchéités mises en œuvre sous forme liquide (§ 8.4, p. 109) sont généralement à base de résines synthétiques et sont appliquées en plusieurs couches, armées ou non. Elles sont le plus souvent utilisées en complément des membranes pour les raccords délicats ou sur toute la surface dans certaines applications.

D'avantage encore que les systèmes multicouches, les étanchéités monocouches requièrent un soin particulier lors de la pose. L'expérience montre que d'excellents résultats peuvent être obtenus lorsque ces systèmes sont mis en œuvre selon des méthodes adéquates par un personnel spécialement formé à cet effet.

Plusieurs paramètres doivent être pris en compte pour déterminer le système d'étanchéité le plus approprié (étanchéités synthétiques, bitumineuses ou liquides) et l'application monocouche ou multicouche.

#### 8.1.2 PREMIER CRITÈRE DE CONCEPTION : L'ÉTANCHÉITÉ À L'EAU

La principale fonction d'une étanchéité de toiture est sans conteste de protéger de l'eau les éléments sous-jacents du bâtiment. Il est donc préconisé, lors de la conception du complexe toiture, de tenir compte notamment des points suivants :

- le **risque de fuite** : les erreurs d'exécution au niveau de l'assemblage des lés entraînent directement des fuites dans les étanchéités monocouches, tandis que les systèmes multicouches offrent à cet égard une plus grande sécurité lorsque les couches sont collées les unes aux autres en adhérence totale ; sur une toiture munie de nombreux détails (traversées, installations, joints de dilatation, ...), le risque d'erreur d'exécution est encore accru
- les **conséquences des fuites** : quelle sera l'importance des dégâts en cas de fuite éventuelle ; quelle fonction remplissent les locaux sous-jacents (pièces d'habitation, centre informatique, locaux de rangement, ...); quels marchandises ou appareils y sont entreposés ; ces appareils ou marchandises sont-ils coûteux, bien emballés, protégés, ... ?
- le **risque de dommage pendant les travaux** : lors de l'édification d'un bâtiment comportant des toitures à plusieurs niveaux ou aux endroits devant accueillir de nombreuses installations, il est difficile d'éviter que l'étanchéité, une fois réalisée, subisse des dégâts avant même que le bâtiment ne soit terminé :
  - une *étanchéité multicouche* permet, de ce point de vue, de rendre (provisoirement) le bâtiment étanche avec une première couche et d'attendre que tous les corps de métier aient fini leurs travaux pour appliquer la couche finale
  - dans le cas des *étanchéités monocouches*, on disposera, dans de telles conditions, des panneaux de protection et/ou des chemins de circulation sur l'étanchéité ou on utilisera le pare-vapeur en guise d'étanchéité provisoire (cf. § 6.1, p. 55)
- la **possibilité de détecter les fuites éventuelles** : les fuites dans un complexe de toiture plate sont toujours possibles et seront de préférence réparées au plus vite. Il est dès lors conseillé, dès la conception

de la toiture, de s'assurer si une fuite peut être repérée rapidement ou non :

- en cas d'étanchéités collées en semi-indépendance ou en indépendance, l'eau peut se disperser sous l'étanchéité et il est difficile de localiser les fuites éventuelles
- un pare-vapeur continu empêche souvent de localiser une fuite avant que l'isolation ne soit humidifiée sur une grande surface
- les couches de protection lourdes et les toitures inversées entravent la localisation des fuites
- dans le cas d'une étanchéité difficilement accessible (recouverte de couches de végétation, terrasse ou autre), on préférera nettement une exécution bicouche en adhérence totale (sur le support) ou compartimentée (sur l'isolation) à une étanchéité posée en indépendance ou en semi-indépendance (cf. NIT 229 et NIT 253) [C6, C12] : les infiltrations d'eau éventuelles ne pourront ainsi se répandre sur le support de toiture ; en présence d'un support en béton monolithique, la fuite est en outre plus facilement détectable.

### 8.1.3 AUTRES CRITÈRES DE CONCEPTION

L'étanchéité à l'eau n'est pas le seul paramètre entrant en ligne de compte. Nous dressons ci-après une liste non exhaustive des points sur lesquels il est judicieux de porter son attention :

- le **mode de mise en œuvre** : les membranes d'étanchéité peuvent être posées en indépendance et, en fonction du support (support de toiture ou isolation), en semi-indépendance, en adhérence totale ou par fixation mécanique. L'exécution peut être réalisée par soudage, collage à froid (colle ou membrane autoadhésive) ou à chaud (bitume), clouage, vissage, ... Les étanchéités liquides sont, quant à elles, mises en œuvre en adhérence totale. Soulignons en outre que les matériaux et les techniques d'exécution ne cessent d'évoluer
- les **exigences de sécurité** : elles peuvent concerner le comportement au feu ou le risque d'incendie pendant l'exécution
- les **exigences environnementales** : pollution chimique, environnement industriel agressif, longévité et déchets, impact environnemental global, ...
- certaines **exigences techniques** peuvent s'avérer prépondérantes pour la composition de la toiture : type d'élément porteur, climat intérieur et action du vent
- les **exigences d'utilisation spécifiques** du maître d'ouvrage : si la toiture est destinée à accueillir une terrasse, de la végétation, des panneaux solaires, des bacs à fleurs, ..., il convient d'étudier sa résistance à long terme aux charges concentrées ; on pourrait également s'intéresser à la récupération de l'eau de pluie en provenance de la toiture
- l'**entretien** peut, lui aussi, faire l'objet d'exigences (par exemple, toiture comportant des zones techniques sur laquelle on doit pouvoir continuer à circuler par temps très chaud ou en cas de gel intense), tout comme les frais d'entretien (par exemple, établissement d'un contrat d'entretien, détermination de la résistance de l'étanchéité à la perforation dans des conditions de contraintes spécifiques occasionnées par des travaux de maintenance) ou la possibilité de faire réparer l'étanchéité par l'équipe responsable de l'entretien (voir le chapitre 11, p. 131)
- l'**expérience de l'exécutant** : la pose d'étanchéités monocouches ou liquides diffère nettement de celle des étanchéités bitumineuses multicouches. Les techniques de mise en œuvre de ces dernières sont généralement bien connues des entrepreneurs d'étanchéité, qui ont acquis une vaste expérience en la matière. Par contre, la pose d'étanchéités monocouches ou liquides exige une formation complémentaire et une expérience spécifique. La plupart des fabricants de ces systèmes collaborent dès lors avec un nombre limité d'entreprises de pose, dont ils ont eux-mêmes formé le personnel
- l'**expérience acquise en Belgique**
- les **malfaçons** : elles sont plus fréquentes dans le cas des détails de toiture délicats et lorsque les pénétrations en toiture (émergences) sont nombreuses ; certains accessoires spéciaux peuvent toutefois simplifier l'exécution
- la **fiabilité du système d'étanchéité** : il est conseillé, lorsqu'on opte pour un système d'étanchéité, de se demander si celui-ci est suffisamment fiable, surtout en ce qui concerne les recouvrements et leur longévité. À cet égard, on se posera un certain nombre de questions : l'exécution dépend-elle des conditions météorologiques ; est-elle aisément contrôlable ; est-elle manuelle ou automatisée ; peut-elle être réalisée sur un support inégal (nécessité d'une rénovation ou d'un support de toiture adéquat) ; en cas de jonctions de recouvrement délicates, peut-on limiter le nombre de recouvrements à réaliser sur chantier ; est-il possible de pratiquer un essai d'étanchéité à l'eau ?
- les **exigences réglementaires** : obligation d'intégrer une toiture verte, prescriptions en matière d'incendie, ...
- les **exigences esthétiques** : couleur de l'étanchéité, aspect des recouvrements, ...
- les exigences liées à la **construction durable** et à l'**économie circulaire** : recyclage des matériaux (pose démontable), durée de vie du complexe, ...
- les exigences relatives à la **rénovation**, telles que la possibilité de poser une couche d'étanchéité supplémentaire en cas de rénovation totale

- les exigences concernant l'occupation du bâtiment pendant les travaux, telles que la prévention des nuisances olfactives (soudage, colles, primaires, ...)
- les exigences liées aux charges admissibles telles que le lestage
- les exigences en matière de coûts.

## 8.2 ÉTANCHÉITÉS BITUMINEUSES

### 8.2.1 SOUS-COUCHES ET COUCHES FINALES

La couche de finition d'une étanchéité bitumineuse doit toujours être une couche de bitume polymère dont l'armature ou l'une des armatures inclut un polyester (pas de voile de verre seul) (§ 8.2.1.2, p. 86) possédant une attestation d'aptitude à l'emploi pour cet usage (agrément technique ATG ou équivalent). Les matériaux à base de bitume oxydé ne peuvent plus être utilisés en couche finale ; ils peuvent éventuellement l'être en sous-couche (§ 8.2.1.1).

Notons certaines évolutions assez récentes, telles que :

- les membranes partiellement recyclées intégrant dans leur composition une certaine proportion de déchets de production, de chutes de découpe, voire de membranes récupérées sur d'anciennes toitures
- les membranes partiellement biosourcées, dans lesquelles une partie du bitume peut être remplacée par des huiles végétales (résidus de fabrication des biopolymères), des résines, ...
- les surfacages remplissant des fonctions particulières telles que la purification de l'air ou la réflexion lumineuse.

La pose au bitume chaud est possible, mais déconseillée pour des raisons de sécurité ; elle n'est donc plus évoquée dans la suite du texte.

#### 8.2.1.1 Sous-couches

Les matériaux suivants peuvent être utilisés pour les sous-couches :

- **bitume polymère ou bitume oxydé armé d'un voile de verre** (Vx, où x est l'épaisseur en mm) : il s'utilise comme sous-couche avec les étanchéités collées à froid ou soudées ; cette sous-couche peut également être autoadhésive (à froid ou thermoactivable par le soudage de la couche supérieure)
- **bitume polymère ou bitume oxydé armé d'un non-tissé de polyester** (Px, où x est l'épaisseur en mm) : il est surtout recommandé lorsqu'on souhaite améliorer la résistance de l'étanchéité au poinçonnement ou poser des fixations mécaniques dans la première couche ; cette sous-couche peut



Fig. 68 Toiture munie d'une étanchéité bitumineuse.

également être autoadhésive (à froid ou thermoactivable par le soudage de la couche supérieure)

- **EP2** : non-tissé de polyester revêtu de bitume sur un côté et sur lequel la couche finale est soudée ou collée en adhérence totale ; cette sous-couche uniquement appliquée en pose libre ou fixée mécaniquement ne constitue pas une couche d'étanchéité effective
- **voile de verre bitumé perforé**, pour la pose en semi-indépendance de la couche supérieure soudée (VP 40/15, épaisseur :  $\pm 1$  mm, trous d'un diamètre de 40 mm sur 12 à 18 % de la surface) : il ne constitue pas une couche d'étanchéité effective. Courant dans le passé, ce type de membrane est aujourd'hui plus rare et remplacé, par exemple, par des membranes semi-adhérentes à bandes ou plots soudables ou autoadhésifs.

La fabrication des sous-couches précitées sera soumise de préférence à une vérification ou un contrôle réalisé par un organisme indépendant.

D'autres matériaux pour sous-couches que ceux évoqués ci-avant sont envisageables (partiellement recyclés, biosourcés, ...), à condition que leur application soit prévue dans l'attestation d'aptitude à l'emploi de l'étanchéité.

Les prescriptions techniques PTV 46-002 [B1] proposent un tableau plus complet des sous-couches, de leur dénomination et de leurs applications.

### 8.2.1.2 Couches finales

Ces matériaux d'étanchéité sont composés d'un ou de plusieurs bitumes "modifiés" par l'adjonction de polymères. Ils sont soit armés de polyester non tissé, soit pourvus de deux armatures distinctes (polyester et voile de verre), soit encore armés de matériaux composites (combinaison de polyester et de verre). L'étanchéité de toiture doit disposer d'une attestation d'aptitude à l'emploi pour cet usage (agrément technique ou équivalent).

Une étanchéité monocouche doit présenter une épaisseur réelle de 3,8 mm minimum (épaisseur nominale de 4,0 mm  $\pm$  0,2 mm). Elle disposera de préférence d'une attestation d'aptitude à l'emploi. Si ce n'est pas le cas, les critères suivants doivent être satisfaits :

- retrait (NBN EN 1107-1) [B21] :  $\leq 0,3 \%$
- résistance au poinçonnement statique (NBN EN 12730) [B33] :  $\geq 15$  kg
- résistance au pelage des joints (NBN EN 12316-1) [B32] :  $\geq 40$  N/50 mm (plastomères) ou 100 N/50 mm (élastomères).

S'il s'agit d'une étanchéité multicouche, l'épaisseur minimale de la couche finale est de 3 mm, l'épaisseur de la sous-couche étant d'au moins 2,5 mm en cas de

pose soudée et de 2,0 mm en cas de pose collée ou autoadhésive (à froid ou thermoactivable par soudage de la couche supérieure) ou de fixation mécanique.

La modification du bitume par des polymères confère au matériau une durée de vie beaucoup plus longue et un comportement nettement meilleur à hautes et basses températures que le bitume oxydé (voir tableau 19 et figure 60, p. 70). On distingue :

- les **mélanges à base de plastomères** (précédemment appelés APP), qui procurent au bitume des propriétés plastiques grâce à l'adjonction d'environ 30 % de polyoléfine ou de composé de copolymère de polyoléfine (par rapport à la quantité de bitume)
- les **mélanges à base d'élastomères** (précédemment appelés SBS), qui procurent au bitume des propriétés élastiques grâce à l'adjonction d'environ 12 % de caoutchouc thermoplastique (élastomère).

Aux basses températures, le bitume élastomère offre généralement une meilleure souplesse et une meilleure résistance que le bitume plastomère (cette qualité a surtout son importance lors de la pose, mais n'est plus pertinente par la suite). Son point de ramollissement est plus bas que celui du bitume plastomère, ce qui permet de le travailler à une température inférieure, mais lui confère un moins bon comportement à température élevée. La résistance au pelage des joints est généralement plus élevée que celle du bitume plastomère.

Le bitume plastomère est intrinsèquement résistant aux UV, contrairement au bitume élastomère qui nécessite une protection.

Le tableau 19 résume les principales différences entre les deux matériaux. Il s'agit de caractéristiques générales pouvant varier d'un produit à l'autre en fonction

Tableau 19 Comparaison des bitumes élastomère et plastomère.

Caractéristique	Bitume élastomère	Bitume plastomère
Souplesse à basse température [B22] : – à l'état neuf (valeurs courantes) – après 6 mois à 70 °C (critères de durabilité)	-30 à -15 °C $\leq 0$ °C et $\Delta \leq 15$ °C	-20 à -5 °C $\leq 0$ °C et $\Delta \leq 15$ °C
Résistance à l'écoulement à température élevée (NBN EN 1110) [B23] : – à l'état neuf (valeurs courantes) – après 6 mois à 70 °C (critères de durabilité)	$\approx 100$ °C $\geq 90$ °C	120 à 150 °C $\geq 110$ °C
Résistance au pelage des joints longitudinaux (*) : – à l'état neuf (valeurs courantes) – après 28 jours à 80 °C (critères de durabilité) – après 7 jours dans l'eau à 60 °C (critères de durabilité)	100 à 150 N/50 mm $\geq 100$ N/50 mm $\Delta \leq 20 \%$	40 à 50 N/50 mm $> 25$ N/50 mm et $\Delta \leq 50 \%$ $\Delta \leq 20 \%$
(*) Joint situés à la lisière de la membrane.		

des composants de la membrane. Comme l'expérience l'a démontré, ces différences n'influencent pas le bon comportement des membranes sous notre climat. Rappelons que l'expérience de l'exécutant joue un rôle important dans le choix du type d'étanchéité.

Lors de la fabrication, la face supérieure de la couche finale peut être préservée des rayons UV par incorporation d'une protection minérale (paillettes d'ardoise ou fins granulats, disponibles en différentes couleurs). L'adhérence de ces paillettes est bonne (durable) sur le bitume polymère. Les mélanges à base d'élastomères doivent du reste toujours être préservés des rayons UV au moyen d'une protection minérale ou d'une couche de lestage. Les mélanges à base de plastomères n'ont théoriquement pas besoin de protection UV. Celle-ci est toutefois conseillée lorsqu'on souhaite récupérer l'eau de pluie provenant du toit ou que des éléments métalliques ont été placés en aval de la toiture (gouttières en zinc, avaloirs en plomb, ...), à moins que ces éléments soient dotés d'une protection efficace (cf. § 9.2, p. 116).

Certaines membranes bitumineuses sont revêtues d'un *coating* blanc réfléchissant ou de granules blanches réfléchissantes (figure 69). Ce revêtement permet de réduire les températures de surface (notamment dans le but d'accroître les performances des installations photovoltaïques les surmontant ou de prolonger la durée de vie de l'étanchéité), voire de limiter quelque peu les besoins de refroidissement en été (cf. § 2.1.3, p. 19). Notons que ces *coatings* ont une qualité et une tenue dans le temps très variables d'un produit à l'autre et nécessitent un entretien accru.

Afin d'éviter que les couches d'un rouleau ne collent les unes aux autres, leur face inférieure doit être sablée ou pourvue d'un film PE ou PP (pour les membranes à souder). Dans ce dernier cas, le film doit être fondu lors du soudage. Les membranes revêtues d'un film thermofusible ne conviennent donc pas en cas de collage à froid. Il existe également des films PE ou PP amovibles pour les membranes autoadhésives et les membranes à bandes de soudage rapide (collage en semi-indépendance).

## 8.2.2 MODES DE POSE DES ÉTANCHÉITÉS BITUMINEUSES

Les aspects suivants interviennent dans la conception et la pose d'une étanchéité bitumineuse :

- le nombre de couches d'étanchéité (une ou plusieurs)



Fig. 69 Couche d'étanchéité finale en bitume pourvue de granules blanches réfléchissantes.

- le mode de fixation de l'étanchéité sur le support : en indépendance, en adhérence totale, en semi-indépendance (ou adhérence partielle) ou par fixation mécanique.

Les compositions sont identifiées par un code (voir § 8.2.2.3, p. 88).

### 8.2.2.1 Nombre de couches d'étanchéité

On distingue les étanchéités bitumineuses monocouches et multicouches.

#### 8.2.2.1.1 Étanchéités multicouches

En présence de deux couches (ou davantage), le collage entre les couches s'opère toujours en adhérence totale, et ce par soudage à la flamme, au moyen d'une colle à froid ou d'une membrane autoadhésive.

On utilise souvent comme sous-couche une membrane armée d'un voile de verre (Vx, où x est l'épaisseur en mm), sauf en cas de fixation mécanique, où cela n'est pas permis. Afin d'améliorer encore la qualité des systèmes, surtout lorsque la sous-couche sert d'étanchéité provisoire <sup>(20)</sup> (organisation du chantier), on peut remplacer la membrane armée d'un voile de verre par une membrane armée de polyester (Px, où x est l'épaisseur en mm).

<sup>(20)</sup> Si l'étanchéité provisoire est soumise à de fortes contraintes, elle doit posséder une armature en polyester.

L'utilisation d'une membrane à base de bitume plastomère comme sous-couche et de bitume élastomère comme couche finale (ou l'inverse en cas de soudage) est admise.

Dans le cas d'une sous-couche fixée mécaniquement de façon uniforme (plutôt que dans le recouvrement), l'expérience a montré que, malgré les perforations, l'étanchéité n'était pas mise en péril. Il s'agit bien d'une couche d'étanchéité effective et donc d'un système multicouche.

#### 8.2.2.1.2 Étanchéités monocouches

On considère qu'une étanchéité est monocouche lorsqu'elle est composée soit d'une seule couche, soit d'une sous-couche perforée (VP 45/30, etc.) ou de type EP2 et d'une couche finale.

#### 8.2.2.2 Fixation de l'étanchéité bitumineuse au support

Différentes techniques de pose peuvent être envisagées pour les étanchéités bitumineuses :

- **en indépendance (L)** : elles sont la plupart du temps posées sur une couche de désolidarisation ou revêtues d'un sous-façage empêchant leur adhérence au support et sont toujours lestées d'une couche de protection lourde (voir § 9.3, p. 119)
- **en adhérence totale (T)** : elles sont posées par collage (colle à froid ou membrane autoadhésive) ou par soudage à la flamme
- **en semi-indépendance (en adhérence partielle) (P)** : les couches sont soit munies de bandes de soudage rapide ou de bandes ou plots autoadhésifs, soit posées avec une colle à froid appliquée en cordons ou par soudage sur des sous-couches perforées. Comme le montre le tableau 20, le choix entre adhérence totale et semi-indépendance dépend le plus souvent du support. Lorsque les deux solutions sont envisageables, l'adhérence totale confère une meilleure résistance au vent, la pose en semi-indépendance présentant, pour sa part, l'avantage d'une meilleure diffusion de la vapeur d'eau (sur support humide)
- **par fixation mécanique (M)** avec *vis (V)* ou *clous (N)* : la fixation mécanique d'une étanchéité monocouche s'opère dans le recouvrement ; pour la sous-couche d'une étanchéité multicouche, elle s'opère dans le recouvrement ou est uniformément répartie. Le vissage (solution MV) est surtout utilisé pour les toitures chaudes sur tôles profilées en acier, sur bois ou sur béton. Le clouage (MN) s'applique au support en bois sans isolant interposé.

D'autres techniques de pose ou compositions sont applicables, pour autant qu'elles soient admises dans l'attestation d'aptitude à l'emploi.

#### 8.2.2.3 Systèmes de codage des techniques de fixation des étanchéités bitumineuses

Le codage se compose de deux lettres majuscules, complétées ou non d'une ou plusieurs minuscules.

La **première majuscule** (L, T, P ou M) indique le mode de fixation de l'ensemble de l'étanchéité sur le support :

- L : en indépendance, avec une couche de protection lourde
- T : en adhérence totale
- P : en semi-indépendance/en adhérence partielle
- M : fixation mécanique.

La **seconde majuscule** (L, S, C, AC, V, N ou B) renvoie à la technique de fixation de la première couche d'étanchéité (sous-couche ou couche unique) sur le support :

- L : en indépendance
- S : soudage
- C : collage à froid
- AC : autoadhésif
- V : vissage
- N : clouage
- B : collage au bitume chaud.

Le cas échéant, la lettre **minuscule** (s ou c) indique la technique utilisée pour fixer la deuxième couche (généralement la couche finale) de l'étanchéité sur la sous-couche : s = soudage, c = collage à froid.

#### Exemples de codage des techniques de fixation des étanchéités bitumineuses

1. LLs signifie :
  - premier L : étanchéité en indépendance à lester (multicouche, vu la présence d'une minuscule après les deux majuscules)
  - deuxième L : sous-couche en indépendance
  - s minuscule : couche finale soudée.
2. PACs signifie :
  - P : semi-indépendance
  - AC : sous-couche autoadhésive (à bandes ou plots autoadhésifs)
  - s minuscule : couche finale soudée.

#### 8.2.3 CHOIX DU SYSTÈME D'ÉTANCHÉITÉ BITUMINEUSE EN FONCTION DU SUPPORT

Le tableau 20 indique les combinaisons support / mode de fixation / technique de collage les plus adaptées pour les étanchéités bitumineuses.

Tableau 20 Techniques de pose courantes des étanchéités bitumineuses en fonction du support (voir l'annexe 4, p. 149, pour la signification des abréviations).

Support	Parement	L Indépendance	T Adhérence totale	P Adhérence partielle	M Fixation mécanique
PU	Aluminium (monocouche)		-	-	
	Aluminium (multicouche)	LL, LLS, LLC	-	PAC (1), PACs (1)	
	Voile de verre bitumé		TC, Tcc, Tcs	PS, PSS, PSc, PLS	
	Voile de verre minéralisé			PAC (1), PACs (1)	
EPS	Sans parement (2)	LL, LLS, LLC	(TC) (3), TAC, TACs, (TCC, TCS) (4)	(PC, PCC, PCS) (4), PAC, PACs	
	Voile de verre bitumé		TC, TAC, TACs, TCC, TCS, TS (3), TSS (3)	PS, PC, PAC, PSS, PCC, PCS, PACs	
CG	Sans parement	-	TBs, TBc, (TBb)	-	MV (5), MVc (5), MVs (5)
	Imprégné de bitume + film thermofusible	-	TS, TSS	(PLs, PS, PSS)	
MMW, EPB	Imprégné de bitume + parement	LL, LLS, LLC	-	-	
	Sans parement		-	-	
Voile de verre		LL, LLS, LLC	TC, TS, TAC (6), TSS, TACs (6), TCC, TCS	-	
	Imprégné de bitume + film thermofusible		TS, TSS	-	
<b>Étanchéité bitumineuse existante (7)</b>					
Béton et béton de pente léger		LL, LLS, LLC	TC, TS, TAC, TSS, TACs, TCC, TCS	PLs, PS, PC, PAC, PSS, PCC, PCS, PACs	
			(TC, TS, TSS, TCC, TCS) (9) TAC, TACs (6)	PLs, PS, PC, PAC, PSS, PCC, PCS, PACs	(MV, MVc, MVs, MNC) (10)
Panneau de béton cellulaire		LL, LLS, LLC	(TC, TS, TSS, TCC, TCS) (11) TAC, TACs (6)	PLs, PS, PC, PAC, PSS, PCC, PCS, PACs (11)	MV, MVc, MVs, (MNC, MNS) (12)
			TC, TS, TSS, TCC, TCS (11) TAC, TACs (6)	PLs, PS, PC, PAC, PSS, PCC, PCS, PACs	MV, MVc, MVs, (MNC, MNS) (13)
Multiplex, fibrociment, panneaux à base de bois			TC, TS, TSS, TAC, TACs (6)		
		(LL, LLS, LLC)	(TC, TCC, TCS) (11)		MV, MVc, MVs, MNC
Panneaux en fibres de bois liés au ciment					
					MV, MVc, MVs, MNC, MNS
Plancher en bois					

(...) : technique de fixation admise, mais peu courante; - : aucune technique de fixation admise ou combinaison impossible.

(1) Voir les supports envisageables dans la documentation du fabricant.  
(2) Les recouvrements doivent être soudés sans endommager l'EPS (chaluveau adapté, recouvrement plus large, double joint, ...).  
(3) Voile de verre bitumé adapté à cet usage (voir documentation technique).  
(4) Vérifier la compatibilité entre la colle et l'EPS.  
(5) Le mode de fixation dans le support de toiture à travers l'isolation est le même que dans le cas des toitures non isolées ou inversées; pour le verre cellulaire, les panneaux d'isolation doivent être collés sur le support et les fixations mécaniques comporter une plaque de répartition (généralement synthétique) pourvue d'un manchon dans lequel la tête de vis peut se déplacer (système télescopique).  
(6) Voir les supports admis dans la documentation du fabricant; un primaire sera généralement nécessaire.  
(7) Voir chapitre 10 (p. 123).  
(8) L'entrepreneur d'étanchéité peut, au besoin, informer son client au sujet de la réglementation thermique.  
(9) Pour éviter les boursouffures, la pose en adhérence totale ne sera réalisée que sur des toitures lestées ou sur béton sec.  
(10) La fixation se fait à travers le béton de pente, dans le support de toiture en béton sous-jacent.  
(11) Des bandes libres sont posées sur les joints d'about.  
(12) On utilise des clous spécialement conçus pour cet usage.  
(13) Ne s'applique pas aux panneaux de fibrociment.

## 8.2.4 MISE EN ŒUVRE DES ÉTANCHÉITÉS BITUMINEUSES

### 8.2.4.1 Préparation du support

Lorsque l'étanchéité est posée directement sur le support de toiture, le contrôle de ce dernier s'effectue selon les principes énoncés au § 4.3 (p. 48). Il peut par la suite s'avérer nécessaire de prévoir un traitement préliminaire complémentaire du support avant de poser l'étanchéité. Ce traitement varie en fonction de la technique de pose envisagée.

#### 8.2.4.1.1 Pose en indépendance

Cette technique vise à éviter toute adhérence entre l'étanchéité et le support (en vue du recyclage, par exemple). En cas d'incompatibilité chimique avec la couche sous-jacente ou si celle-ci est sujette à des déformations importantes, il peut être nécessaire de prévoir une couche de désolidarisation. Les couches de désolidarisation les plus courantes sont les suivantes :

- voile de polyester non tissé et non revêtu (masse surfacique nominale le plus souvent de 150 g/m<sup>2</sup> ou plus)
- voile de verre (masse surfacique nominale de 50 g/m<sup>2</sup> ou plus)
- sous-couche d'étanchéité bitumineuse revêtue sur la face inférieure d'un surfacage antiadhérence (voile de polyester, par exemple).

La couche de désolidarisation se pose en indépendance entre le support et l'étanchéité, avec un recouvrement transversal et longitudinal. Ces recouvrements sont posés librement et ont au moins 100 mm de dimensions. Si la couche de désolidarisation fait simultanément office de première couche d'étanchéité, les recouvrements sont rendus étanches à l'aide d'une colle à froid ou par soudage.

#### 8.2.4.1.2 Pose en adhérence totale et en semi-indépendance

Le collage (partiel) n'est possible que sur des supports compatibles avec des produits bitumineux. Certains supports doivent être revêtus au préalable d'un vernis d'adhérence bitumineux (également appelé primaire) capable de lier les fines particules de matériau entre elles (béton, par exemple), de dégraisser la surface d'adhérence (tôles d'acier, par exemple), de l'imprégner (matériaux poreux, par exemple) ou de réactiver l'ancienne étanchéité bitumineuse (en cas de rénovation).

Le vernis d'adhérence bitumineux est une solution de bitume très liquide, de préférence en phase aqueuse (sans solvant hydrocarboné). Il existe également des vernis d'adhérence avec solvant; dans ce cas, le support doit être compatible non seulement avec le bitume, mais aussi avec le solvant du vernis d'adhérence (le fabricant peut en principe fournir toutes les informations utiles concernant le solvant utilisé).

Le vernis d'adhérence s'applique à l'aide d'une raclette, d'une brosse, d'un rouleau, d'un pistolet ou d'un vaporisateur et ce, d'une manière aussi uniforme que possible, sans surépaisseurs (qui donneraient lieu à un séchage non homogène), à raison de 300 à 400 g/m<sup>2</sup> environ selon la porosité du support. Ce dernier doit être propre et sec à l'air si le primaire est à base de solvant.

Après l'application, l'eau ou le solvant s'évapore, laissant sur le support une fine couche de bitume bien adhérente. Les délais de séchage varient de moins d'une heure à plus d'un jour, en fonction de la composition du vernis d'adhérence, de la quantité appliquée et des conditions météorologiques. En présence d'un primaire avec solvant hydrocarboné, on veillera à ne jamais approcher une flamme du vernis d'adhérence avant que celui-ci ne soit sec.

Le vernis d'adhérence doit être entièrement sec avant d'entamer le collage de l'étanchéité en adhérence totale ou en semi-indépendance.

#### 8.2.4.1.3 Pose par fixation mécanique

Ce mode de pose implique le même type de préparation que la pose en indépendance (cf. § 8.2.4.1.1). Une couche de désolidarisation peut s'avérer nécessaire ici aussi.

## 8.2.4.2 Schéma de pose, recouvrement et type de lé

### 8.2.4.2.1 Schéma de pose

Dans le cas des lés en bitume, on essaye toujours d'éviter les contre-joints. De même, il est recommandé de recourir à des solutions réduisant au minimum l'accumulation d'eau au niveau des joints. Les lés de toiture sont donc posés de préférence dans le sens d'évacuation de l'eau.

La figure 70 illustre quatre possibilités de mise en œuvre d'une étanchéité bitumineuse pour un même sens d'évacuation de l'eau.

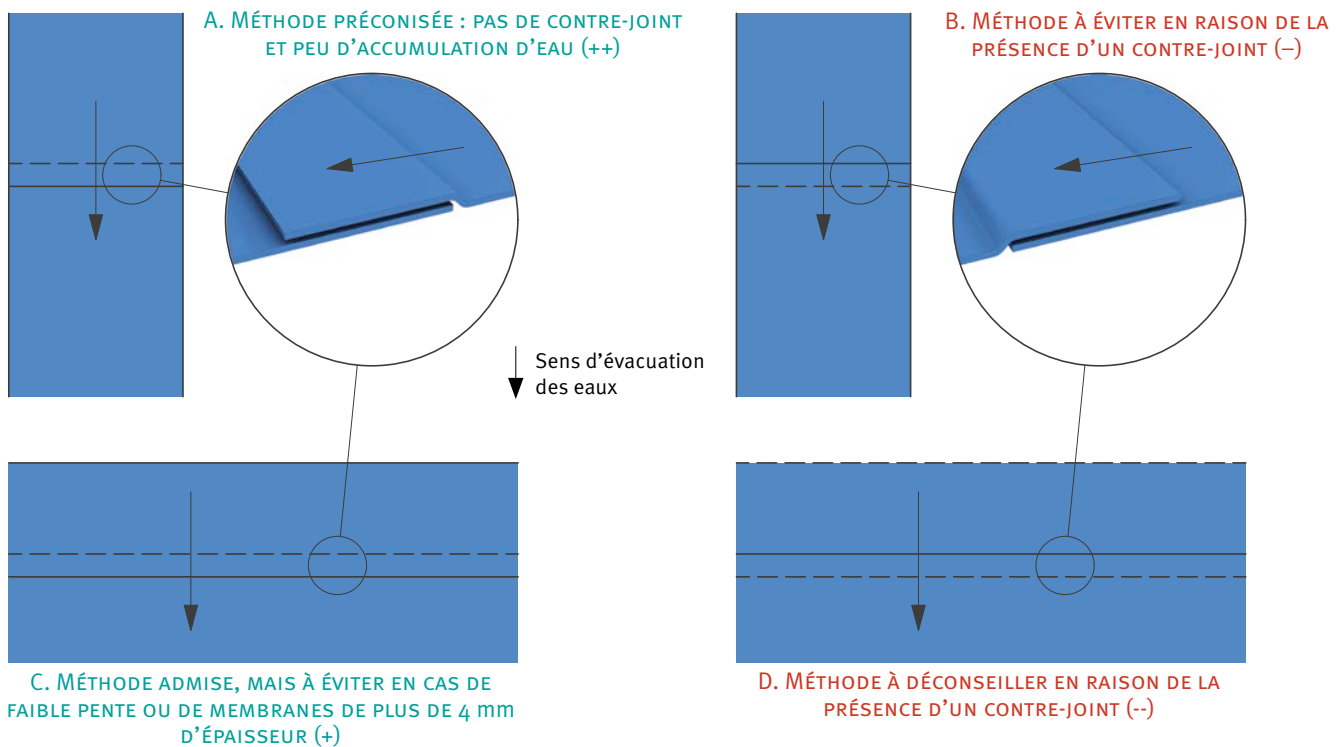


Fig. 70 Méthodes de pose des lés bitumineux.

Les recouvrements des sous-couches et des couches finales ne peuvent pas se superposer afin d'éviter des surépaisseurs trop importantes. Les joints de la deuxième couche se situeront de préférence au milieu de la première couche (pose alternée et non croisée).

#### 8.2.4.2.2 Recouvrement minimum des étanchéités bitumineuses

Tous les recouvrements sont soudés (ou collés) sur toute la largeur. En cas de joints soudés, le bitume fondu doit refluer du joint sous forme d'un filet continu (figure 71). Les recouvrements longitudinaux et d'about doivent être pressés. Les recouvrements d'about requièrent une attention particulière en cas de protection minérale. En ce qui concerne les couches supérieures, on s'efforcera, pour des raisons esthétiques, de limiter ce reflux à environ 10 mm. Le chanfreinage du bitume à l'aide d'une truelle chaude n'est plus guère pratiqué et est même déconseillé.

Le recouvrement minimum requis (dans la partie collée ou soudée) est mentionné au tableau 21 (p. 92). En cas de fixation mécanique dans le recouvrement, la largeur requise sera plus importante (au moins 120 mm, voir la NIT 239 [C8] et la documentation du fabricant).

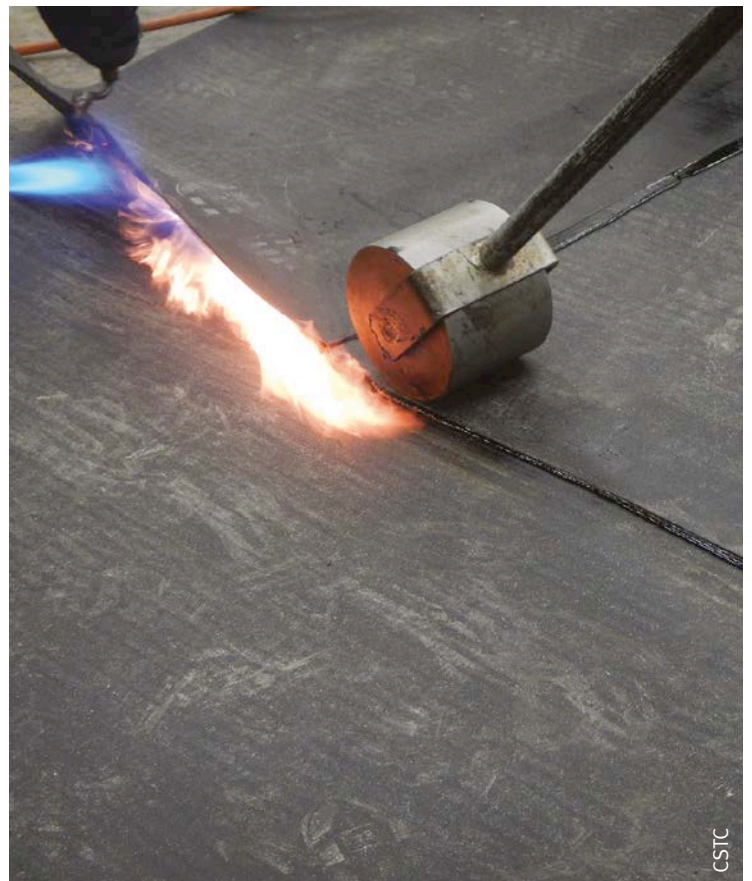


Fig. 71 Joint de membrane bitumineuse soudé et pressé au rouleau.

Tableau 21 Recouvrements minimum.

Mode de fixation	Sous-couche		Couche finale (étanchéité monocouche ou bicouche)			
			Avec protection minérale		Sans protection minérale	
	Recouvrement longitudinal	Recouvrement transversal	Recouvrement longitudinal	Recouvrement transversal	Recouvrement longitudinal	Recouvrement transversal
T, P, L	70 mm	70 mm	80 mm	150 mm <sup>(1)</sup>	80 mm	150 mm <sup>(2)</sup>
M	80 mm	100-150 mm	120 mm		120 mm	

<sup>(1)</sup> Une attention particulière est requise en cas d'adhérence sur une protection minérale : il faut chauffer suffisamment la couche inférieure pour noyer les granulats et réaliser une jonction correcte du recouvrement.

<sup>(2)</sup> Si le retrait libre est inférieur à 0,3 %, le recouvrement peut être limité à 100 mm.

### ■ Mode de recouvrement

Les angles des couches finales doivent être découpés à 45° en fin de lé sur la largeur du recouvrement, afin d'obtenir un joint fermé et long qui ne s'ouvrira pas en cas de mouvement du lé et limitera, de la sorte, le risque de pénétration capillaire (voir figure 72).

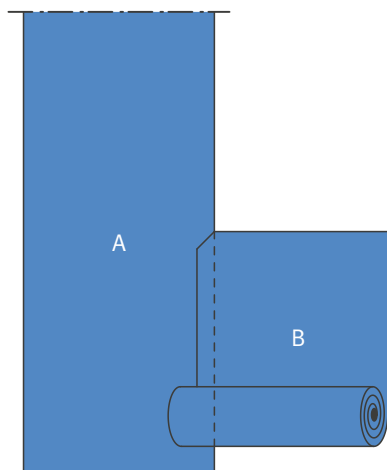
#### 8.2.4.2.3 Type de lé

Le type de lé doit être adapté à la technique de pose. Ainsi, on veillera notamment :

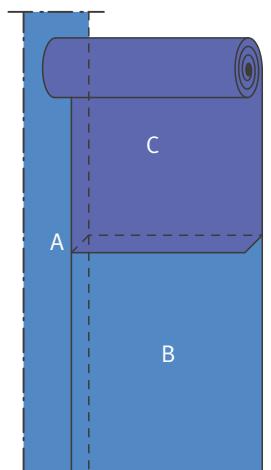
- à ne pas utiliser de lés sous-facés d'un film thermofusible en cas de pose collée
- à choisir des lés sous-facés d'un matériau antiadhérent lorsque la pose s'effectue en indépendance ou par fixation mécanique sans couche de désolidarisation.



ÉTAPE 1 - JOINT LONGITUDINAL ENTRE LE LÉ 'B' À ANGLE COUPÉ ET LE LÉ 'A'



ÉTAPE 2 - JOINT TRANSVERSAL ENTRE LE LÉ 'B' ET LE LÉ 'C' ; JOINT LONGITUDINAL ENTRE LE LÉ 'C' ET LE LÉ 'A'



ÉTAPE 3 - JOINT LONGITUDINAL ENTRE LE LÉ 'D' ET LES LÉS 'B' ET 'C'

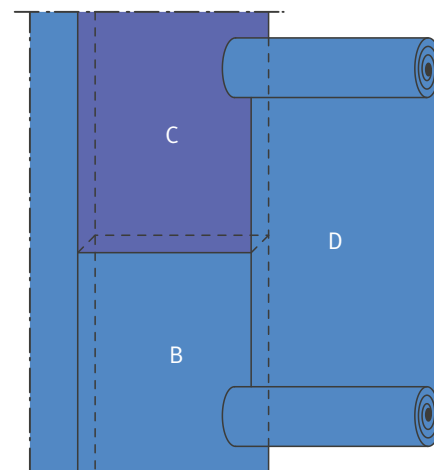


Fig. 72 Joints transversaux et longitudinaux.

### 8.2.4.3 Pose des membranes bitumineuses en indépendance

Les membranes sont déroulées sur le support et leurs joints rendus étanches. Dans le cas d'étanchéités multicouches, la ou les couches suivantes sont collées ou soudées en adhérence totale.

### 8.2.4.4 Soudage à la flamme (des sous-couches ou des couches finales)

Le collage par soudage à la flamme s'effectue au brûleur à gaz propane sans adjonction extérieure de bitume. Le bitume de collage s'obtient en faisant fondre ou ramollir une partie du bitume de la membrane proprement dite (située sous l'armature).

L'agent adhésif étant fourni par la membrane elle-même, celle-ci doit contenir une quantité suffisante de bitume (épaisseur, teneur en bitume). Pour les armatures sensibles à la température, on veillera à ce qu'il y ait une quantité de bitume suffisante du côté de l'armature exposé à la flamme (c'est-à-dire, en général, la face inférieure dans le cas des membranes en bitume polymère armées de polyester).

Si on assemble par soudage deux surfaces bitumineuses (membrane, couche de surfacage au bitume, enduisage de bitume sur l'isolation, ...), il faut que le bitume des deux surfaces fonde suffisamment pour obtenir une bonne adhérence. En cas de soudage de bitume plastomère sur du bitume élastomère (compatibles), on dirigera donc davantage la flamme sur le bitume plastomère, dont le point de ramollissement est plus élevé, sans quoi l'adhérence risque d'être insuffisante (boursouflures, glissement, décollement des recouvrements longitudinaux et des recouvrements d'about, ...).

Dans le cas d'une pose en adhérence totale, la membrane est soudée à la flamme sur toute sa largeur pendant qu'elle est déroulée. Un filet de bitume fondu en provenance de la membrane se trouve en permanence devant le rouleau et assure un collage parfait.

En cas de pose en semi-indépendance, deux possibilités se présentent :

- soit on utilise une membrane d'étanchéité avec bandes ou plots de soudage rapide répartis de façon inégale sur la face inférieure, les zones 'libres' étant revêtues d'un agent antiadhérent. On crée ainsi des zones d'adhérence alternant avec des zones non ou peu adhérentes. Le soudage de ces membranes s'opère à la flamme molle. Cette

technique exige une certaine expérience, car il faut obtenir une chaleur suffisante pour activer le bitume de soudage rapide, tout en évitant des températures excessives, afin de garder intactes les zones d'antiadhérence. De plus, le soudage des recouvrements (notamment des abouts) doit faire l'objet d'un soin particulier, car ils réclament un collage complet et continu. Le résultat final (entre autres la résistance au vent) dépend, lui aussi, de la qualité du bitume de soudage rapide (voir la documentation des produits correspondants)

- soit on utilise une membrane à grandes perforations (VP 40/15) que l'on déroule d'abord en indépendance, en ménageant un faible recouvrement entre les lés, et sur laquelle on soude ensuite la couche d'étanchéité. Le bitume fondu lors du soudage assure l'adhérence entre les deux membranes et s'insère également dans les trous de la couche perforée. Seul le bitume se répandant dans les trous assure l'adhérence au support. Il convient donc de faire fondre une quantité suffisante de bitume pour bien remplir les trous de bitume chaud. La surface d'adhérence correspond à environ 12 à 18 % de celle d'une étanchéité collée en adhérence totale. Cette technique est plus rare que la première.

### 8.2.4.5 Fixation à l'aide de colle bitumineuse à froid

Les principaux composants de la colle bitumineuse à froid destinée au collage des membranes d'étanchéité sont le bitume (polymère) et le solvant. Le support doit donc être compatible non seulement avec le bitume, mais aussi avec le solvant de la colle (toutes les informations concernant le solvant utilisé peuvent être obtenues auprès du fabricant ou dans la documentation du produit). Il existe également des colles sans solvant (avec adjonction d'huiles végétales, par exemple), dont les caractéristiques et le mode d'application sont similaires à ceux des colles avec solvant.

En cas de **pose en semi-indépendance**, la colle bitumineuse à froid est généralement appliquée par bandes, à l'aide d'un appareil spécial à pistoler. La consommation dépend de la résistance au vent que l'on souhaite obtenir. L'étanchéité est déroulée dans la colle. Le collage du recouvrement fait l'objet d'une phase de travail distincte. La plupart du temps, il est soudé à la flamme ou, s'il est nécessaire de travailler sans flamme, à l'air chaud. Il existe également des colles bitumineuses spéciales (à base de bitume polymère) permettant de coller le recouvrement; il convient de consulter la documentation du fabricant à

ce sujet. On veillera également à bien maroufler le joint de recouvrement.

Avant de souder le recouvrement à la flamme ou à l'air chaud, on s'assurera de ce que le solvant de la colle se soit suffisamment évaporé, pour éviter qu'il ne s'enflamme (tenir compte du point éclair; voir la fiche de sécurité MSDS du produit).

En cas de **collage en adhérence totale**, la colle bitumineuse à froid est appliquée sur toute la surface à l'aide d'une raclette adaptée, à raison de 1 kg/m<sup>2</sup> environ. La suite de la mise en œuvre est analogue à celle décrite ci-avant. Le collage du joint de recouvrement faisant l'objet d'une phase de travail distincte, on veillera à la continuité du collage entre le recouvrement et le reste de la membrane.

L'adhérence de la colle ne devient totale qu'au bout de quelques jours, voire quelques semaines (selon les conditions météorologiques, le type de colle – 1 ou 2 composants –, les possibilités de séchage, la perméabilité des couches adjacentes, ...). La résistance au vent est dès lors limitée pendant cette période. De même, lorsqu'on utilise une colle à froid sur des toitures d'une pente supérieure à 15 % et sur les relevés, il est nécessaire de prévoir une fixation mécanique supplémentaire (voir la [NIT 244](#) [C10]). C'est pourquoi on soudera généralement les relevés à la flamme (sauf si l'on doit travailler sans flamme).

#### 8.2.4.6 Fixation à l'aide de colle synthétique à froid

Il est possible de coller une étanchéité bitumineuse à l'aide d'une colle synthétique (PU, par exemple), mais cette technique est encore peu répandue.

#### 8.2.4.7 Fixation mécanique des membranes bitumineuses

La fixation mécanique peut être assurée par clouage ou par vissage. Cette technique est déjà abordée au § 7.3.3 (p. 78) principalement en ce qui concerne l'isolation, mais on y trouve également des considérations relatives à l'étanchéité. Elle est décrite en détail dans la [Note d'information technique n° 239](#) [C8], qui traite des supports en tôles d'acier profilées, mais dont de nombreux commentaires sont applicables aux autres supports.

Le nombre de fixations est défini sur la base du calcul de l'action du vent et de la valeur de calcul de la résistance utile au vent de la fixation et de la membrane. Cette valeur est mentionnée dans l'attestation d'aptitude à l'emploi de l'étanchéité ou de la fixation.

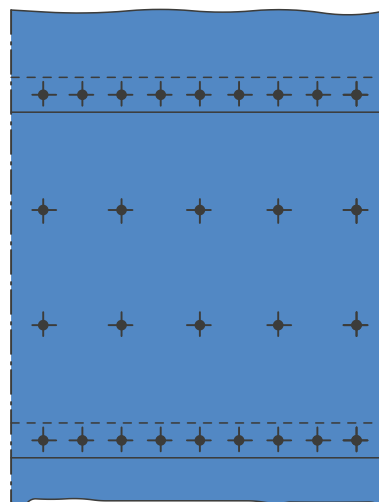


Fig. 73 Clouage des sous-couches d'étanchéité bitumineuses.

##### 8.2.4.7.1 Clouage

Les étanchéités bitumineuses peuvent être clouées lorsqu'elles sont fixées directement sur des planchers en bois. Une sous-couche armée de polyester (disposant d'une attestation d'aptitude à l'emploi pour cet usage) est fixée à l'aide de clous galvanisés à tête large, dont la densité (quantité par unité de surface) est calculée en fonction de l'action du vent (figure 73). L'étanchéité multicouche ou monocouche est posée en adhérence totale sur cette sous-couche.

##### 8.2.4.7.2 Vissage

L'étanchéité est vissée sur le support de toiture à travers l'isolation. La fixation se compose d'une vis et d'une plaquette de répartition métallique ou d'un manchon synthétique (permettant de réduire les déperditions thermiques).

Cette technique est en principe utilisable sur n'importe quel support, mais elle s'applique en pratique le plus souvent sur les tôles profilées en acier.

L'étanchéité bitumineuse peut être fixée mécaniquement de différentes manières, selon qu'elle se compose d'une ou de plusieurs couches.

##### 8.2.4.7.3 Étanchéité multicouche

Dans le cas d'une étanchéité multicouche, la première couche armée de polyester est déroulée et fixée mécaniquement :

- soit selon un schéma régulier (cf. § 8.2.4.7.1) ; dans ce cas, elle est perforée régulièrement, mais peut être considérée comme une couche d'étanchéité

effective, l'expérience ayant démontré que ces perforations ne compromettent pas son étanchéité

- soit dans le recouvrement.

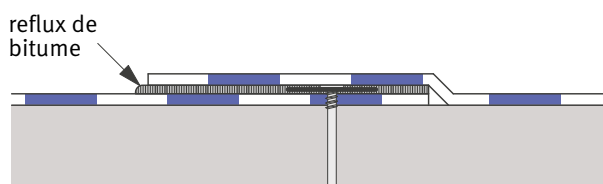
Cette sous-couche dispose d'une attestation d'aptitude à l'emploi pour cette application. Une fois fixée, elle reçoit ensuite une ou plusieurs couches posées en adhérence totale. Dans le cas d'une sous-couche fixée selon un schéma régulier, le système est considéré comme bicouche sans exigence supplémentaire pour la couche supérieure.

#### 8.2.4.7.4 Étanchéité monocouche

Si l'étanchéité ne comprend qu'une seule couche, on utilise des membranes bénéficiant d'une attestation d'aptitude à l'emploi pour ce type d'application (fixation mécanique d'une étanchéité monocouche). Deux sortes de membranes existent à cet effet en fonction du recouvrement réalisé :

- dans le cas des **membranes avec fixation dans le recouvrement**, la membrane est déroulée et la fixation mécanique placée dans la zone de recouvrement. La membrane adjacente est ensuite déroulée, avec le recouvrement prescrit; ce dernier est soudé sur toute sa largeur (ou éventuellement collé, si l'attestation du fabricant le prévoit); la largeur du recouvrement et la ou les techniques de collage à lui appliquer sont illustrées à la figure 74A (voir aussi l'attestation d'aptitude à l'emploi). Cette première possibilité est la plus courante
- dans le cas des **membranes bord à bord avec bande de pontage**, la membrane est déroulée et la fixation mécanique placée dans la zone de recouvrement. On déroule ensuite la membrane adjacente (avec joint bord à bord) et on la fixe de la même façon. Enfin, les deux membranes sont assemblées de manière étanche à l'eau par une bande de pontage posée en adhérence totale selon la technique préconisée dans l'attestation d'aptitude à l'emploi (figure 74B). Le contre-joint ne peut pas être évité dans ce cas, et il est donc d'autant plus important que la pente de la toiture soit suffisante. Cette seconde possibilité est plus rare.

#### A. FIXATION DANS LE RECOUVREMENT (MÉTHODE COURANTE)



#### B. FIXATION BORD À BORD AVEC BANDE DE PONTAGE (MÉTHODE PLUS RARE)

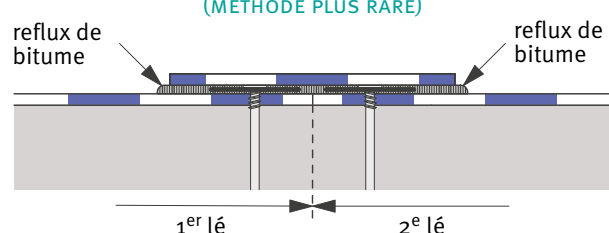


Fig. 74 Fixation mécanique d'une étanchéité bitumineuse monocouche.

#### 8.2.4.8 Soudage à l'air chaud des membranes bitumineuses

Il existe des techniques de pose moins fréquemment utilisées, parmi lesquelles il faut citer le soudage à l'air chaud. Dans son principe, cette technique est analogue au soudage à la flamme, mais la source de chaleur (un appareil à air chaud) ne génère pas de flamme.

En pratique, la technique ne s'utilise que pour souder des raccords locaux ou des recouvrements, car l'énergie qu'elle est susceptible de produire est trop faible, à l'heure actuelle, pour permettre de souder des membranes sur toute leur largeur.

#### 8.2.4.9 Systèmes bitumineux autoadhésifs

Les membranes autoadhésives conviennent également à la pose en semi-indépendance ou en adhérence totale. On en distingue deux types principaux :

- la membrane autoadhésive proprement dite, qui atteint son pouvoir adhésif après avoir été appliquée sur le support et pressée à la brosse ou au rouleau. Elle peut être utilisée en application monocouche
- la membrane autoadhésive thermoactivable, qui requiert une activation thermique. Elle n'est utilisée que comme sous-couche d'une couche supérieure entièrement soudée à la flamme.

Les membranes autoadhésives posées en adhérence partielle nécessitent une activation thermique ou un collage au droit des relevés (cf. NIT 244) [C10]. Les recouvrements peuvent être autoadhésifs (en sous-couche) ou soudés (en sous-couche ou en couche finale).

Elles peuvent s'appliquer sur de nombreux supports : tôles profilées en acier, béton, panneaux en bois, matériaux d'isolation, étanchéités existantes, etc. (voir à ce sujet la documentation du fabricant).

Elles doivent être posées le plus rapidement pos-

sible – généralement 6 à 12 mois maximum – après leur production (consulter le fabricant); entretemps, elles ne pourront être ni empilées (fléchissement) ni exposées au soleil ou aux températures élevées.

Avant leur application, le support doit être plan, sec à l'air, propre et exempt de graisse et de poussières. Il s'avérera souvent nécessaire d'utiliser un primaire, qui devra être totalement sec avant la pose de la membrane.

La température ambiante idéale pour la mise en œuvre se situe entre 10 et 25 °C dans le cas des membranes autoadhésives à froid. Pour les membranes thermoactivables, elle est moins déterminante. Dans une ambiance plus froide, l'adhérence risque de ne pas être complète, tandis qu'une température plus élevée peut causer une trop forte adhérence du film amovible ou son déchirement.

Les joints peuvent être soit autoadhésifs et pressés au rouleau (uniquement dans le cas d'une sous-couche d'une couche supérieure soudée à la flamme), soit soudés à la flamme ou à l'air chaud. Pour de plus amples informations au sujet des membranes autoadhésives, on consultera [Les Dossiers du CSTC 2010/2.6](#) [N3].

## 8.3 ÉTANCHÉITÉS SYNTHÉTIQUES

### 8.3.1 INTRODUCTION

Parmi les étanchéités synthétiques, on distingue les élastomères, les élastomères thermoplastiques (TPE) et les plastomères (matières plastiques) avec ou sans armature et/ou sous-façage. Ces produits s'appliquent en monocouche sous forme de lés ou de bâches préfabriquées. Ils sont décrits dans la norme NBN EN 13956 [B47].

#### 8.3.1.1 Comportement vis-à-vis de la température

En théorie, les matériaux peuvent passer par différentes phases, illustrées et explicitées à la figure 75 en fonction de la hausse de la température.

#### 8.3.1.2 Classification des étanchéités synthétiques et principales caractéristiques

Lors d'un échauffement, tous les matériaux d'étanchéité synthétiques ne passent pas forcément par chacune des phases représentées à la figure 75.

Les trois familles d'étanchéités synthétiques les plus courantes sont présentées au tableau 22 et sont décrites aux §§ 8.3.2 à 8.3.4 (pp. 98 à 101; voir l'annexe E de la norme NBN EN 13956 pour une liste complète) [B47].

#### 8.3.1.3 Armature – Sous-façage

Selon le procédé de fabrication (laminage, calandrage ou extrusion), les caractéristiques souhaitées (stabilité dimensionnelle, comportement à la déformation, résistance au poinçonnement, ...) ou la technique de pose envisagée (en adhérence, en indépendance, ...), les étanchéités synthétiques peuvent être livrées sous différentes formes :

- non armées (matériau homogène)
- avec armature interne favorisant la stabilité dimensionnelle et/ou la résistance mécanique (déchirure)
- avec un sous-façage favorisant la stabilité dimensionnelle et/ou thermique ainsi que l'adhérence au support et servant de couche de désolidarisation en cas d'incompatibilité avec la couche sous-jacente.

En guise d'armature ou de sous-façage, on utilise principalement des voiles et des tissus ou on incorpore des fils de verre, de polyester ou de polypropylène.

Tableau 22 Familles d'étanchéités synthétiques les plus courantes.

Famille	Abréviation	Composition
Élastomères	EPDM élastomère vulcanisé	Terpolymère d'éthylène de propylène et diène-monomère
Élastomères thermoplastiques (*)	TPE	–
Plastomères (matières plastiques)	ECB ou EBT EVA (EVAC) FPO ou PO-F PIB PVC	Copolymère d'acétate de vinyle et d'éthylène et bitume Copolymère d'acétate de vinyle et éthylène Polyoléfine flexible (également appelé TPO) Polyisobutylène Polychlorure de vinyle (souple)

(\*) Il existe également des membranes constituées d'EPDM thermoplastique non vulcanisé.

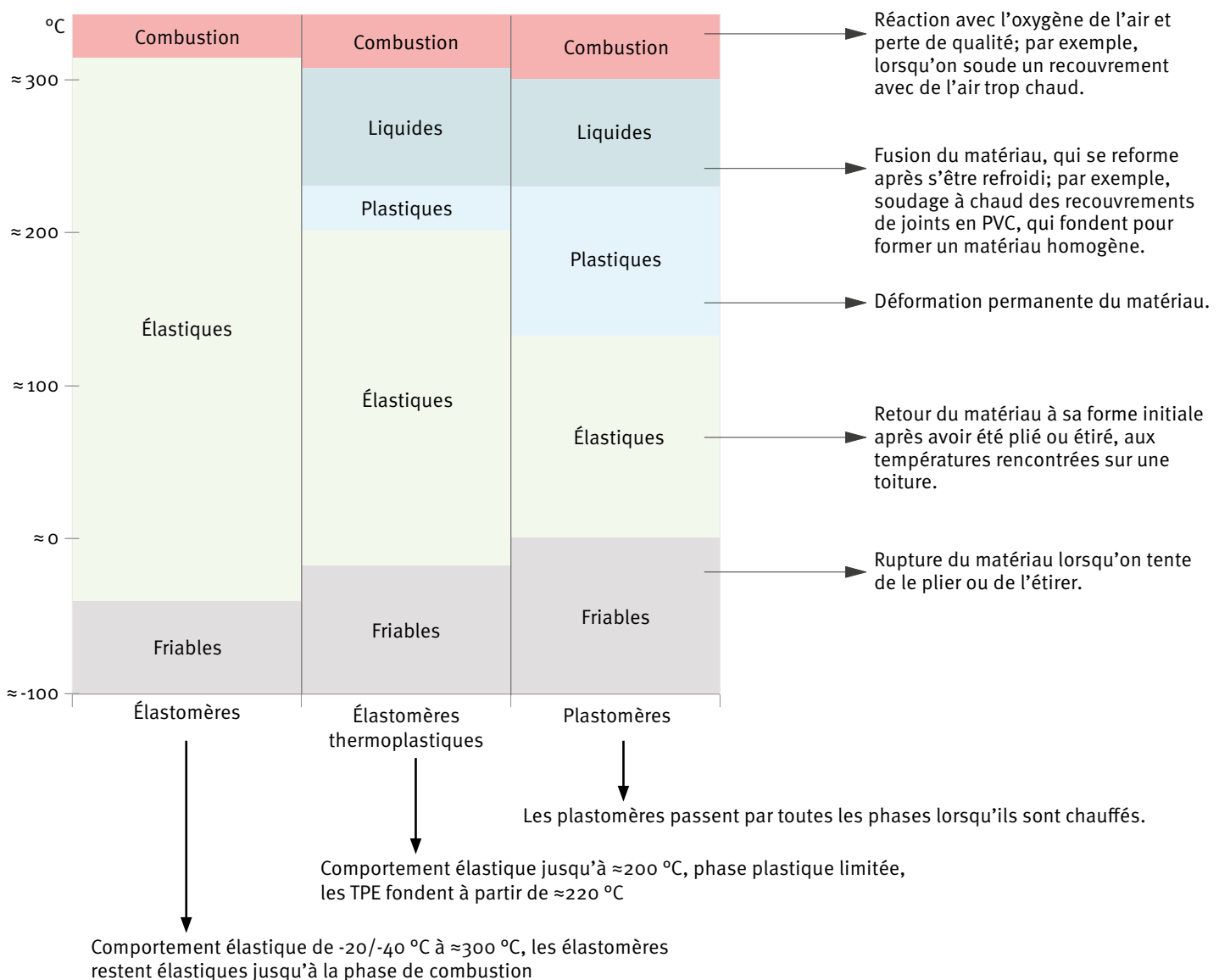


Fig. 75 Représentation schématique du comportement des étanchéités synthétiques en fonction de la température.

### 8.3.1.4 Épaisseur des étanchéités synthétiques

Les lés trop minces engendrent des problèmes tels que perforations et fissurations. L'épaisseur minimum que doivent présenter les lés non armés pour offrir des propriétés mécaniques minimales est supérieure ou égale à celle des lés armés.

Le tableau 23 mentionne l'épaisseur minimum des étanchéités synthétiques les plus courantes (épaisseur effective pour les étanchéités sous-facées, c'est-à-dire épaisseur de la feuille assurant la fonction d'étanchéité <sup>(21)</sup> – tolérance -5/+10 %).

<sup>(21)</sup> Y compris toute texture de surface, à l'exclusion du profil de surface et du sous-façage (NBN EN 1849-2) [B24].

Tableau 23 Épaisseur effective nominale minimum des étanchéités synthétiques les plus courantes (voir l'annexe 4, p. 149, pour la signification des abréviations).

Matériau	Étanchéité non armée <sup>(1)</sup>	Étanchéité armée ou sous-facée
EVA	1,20 mm <sup>(2)</sup>	1,20 mm
ECB	–	2,00 mm
EPDM élastomère	1,10 mm	1,10 mm
PIB	–	1,20 mm
PVC	1,20 mm <sup>(2)</sup>	1,20 mm
FPO (TPO)	1,20 mm <sup>(2)</sup>	1,20 mm

<sup>(1)</sup> Ne contenant pas d'armature interne (même d'un grammage < 80 g/m<sup>2</sup>).  
<sup>(2)</sup> Pour la réalisation des détails.

### 8.3.1.5 Dimensions des lés et bâches en matériau synthétique

Les lés et les bâches synthétiques ont les dimensions suivantes :

- lés :
  - largeur habituelle : de 1 à environ 3 m
  - longueur habituelle : jusqu'à 25 m environ
- bâches : ces membranes en EPDM de grand format (voir § 8.3.2.1) sont produites en dimensions standard (jusqu'à 15 m x 60 m) ou fabriquées en atelier aux dimensions de la toiture (jusqu'à 1000 m<sup>2</sup> environ). Des formes complexes et l'intégration de détails sont également possibles.

### 8.3.2 ÉLASTOMÈRES

Les élastomères doivent leur comportement élastique à un processus de vulcanisation à plus de 130 °C, engendrant une réaction chimique irréversible. Ces matériaux se caractérisent par leur allongement important à la rupture.

Les étanchéités en élastomère les plus utilisées étant en EPDM, nous étudions plus en détail ce matériau

ci-après. Comparée aux autres élastomères, une membrane en EPDM présente généralement une plus grande longévité. La durée de vie de la toiture dépend toutefois aussi de la technique de pose (type de recouvrement) et de l'entretien de l'ouvrage.

#### 8.3.2.1 EPDM (copolymère d'éthylène de propylène et diène-monomère)

On distingue principalement les étanchéités en EPDM (figure 76) en fonction :

- de la composition de l'EPDM proprement dit
- de l'armature, du sous-façage et de la fixation au support
- du joint de recouvrement.

On consultera l'attestation d'aptitude à l'emploi du produit pour connaître les techniques de pose et d'assemblage autorisées.

##### 8.3.2.1.1 Composition de l'EPDM

Le mélange servant à la fabrication des membranes vulcanisées comporte du caoutchouc éthylène-propy-



Sylvie Baelen – VM Building

Fig. 76 Étanchéité en EPDM.

ène-diène (EPDM) représentant au moins 25 % de la masse totale du mélange. Les autres composants sont les charges inertes (*fillers*), les agents de vulcanisation, les huiles, le noir de carbone, les antioxydants, les retardateurs de flamme et autres produits chimiques [U5].

Certaines étanchéités en EPDM contiennent des charges (notamment des huiles) incompatibles avec le bitume. Si ce type d'EPDM non résistant au bitume doit être posé sur des supports bitumineux, on veillera toujours à interposer une couche de désolidarisation entre le support et l'étanchéité ou à appliquer une membrane EPDM pourvue d'un sous-façage adéquat. Cette couche de désolidarisation est superflue si l'étanchéité bitumineuse a au moins 5 ans.

### 8.3.2.1.2 Types d'armature, de sous-façage et de sous-couche – Adhérence au support

Les différents types d'étanchéités à base d'EPDM sont présentés au tableau 24.

L'adhérence au support dépend de l'armature, du sous-façage ou de la sous-couche éventuels (tableau 25). Les types de support (support de toiture et/ou isolation) sont présentés au tableau 27 (p. 107).

### 8.3.2.1.3 Assemblage des recouvrements des lés ou bâches en EPDM

Un élastomère ne pouvant ni fondre ni se ramollir, le recouvrement ne peut être rendu étanche que par

Tableau 24 Types d'étanchéités à base d'EPDM.

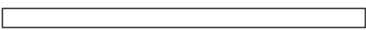



Forme	Description	Abréviation	Schéma
Lés ou bâches	Non armés	Eo	
	Avec treillis d'armature interne en fils de fibre de verre, en tissu de polyester ou en polypropylène	Ei	
Lés	Avec sous-façage en voile de verre, non-tissé de polyester ou polypropylène	Ec	
	Avec sous-couche en bitume SBS ou butyle et treillis d'armature interne en fils de fibre de verre	Eb	

Tableau 25 Fixation d'une étanchéité en EPDM sur le support en fonction du type d'armature, de sous-façage ou de sous-couche.

Type de fixation		Type de lé (cf. tableau 24)		Bâche (1)
		Eo / Ei / Ec	Eb	
En indépendance avec lestage (2)		X	X	X
En semi-indépendance	– colle à froid (3)	X	X	X
	– autoadhésif	–	X	–
En adhérence totale	– colle à froid (3)	X	X	X
	– autoadhésif	–	X	–
	– soudage à la flamme	–	X	–
Fixation mécanique (2) (4) (5)		X	X	X

X : admis ; – : non autorisé.

(1) Les bâches de grande dimension s'avèrent difficiles à coller en raison des risques de plissement et des difficultés causées par le vent lors de la pose.

(2) Les membranes non armées et certaines membranes sous-facées de polyester nécessitent une fixation périphérique pour résister aux mouvements thermiques (voir la NIT 244 [C10] et l'attestation d'aptitude à l'emploi).

(3) Il peut s'agir de colle de contact, de colle à base de polyuréthane ou de colle bitumineuse à froid. Membranes d'étanchéité, colles et isolation doivent être compatibles. L'attestation d'aptitude à l'emploi du produit spécifie les colles susceptibles d'être utilisées. Le collage au bitume chaud est possible (bitume 110/30 ou modifié), mais n'est plus guère réalisé en pratique.

(4) Se référer au § 8.3.5.3.2 (p. 106) pour les types de fixation.

(5) La résistance à la déchirure par clouage doit être supérieure à 150 N en cas de fixation mécanique dans le recouvrement (cf. attestation d'aptitude à l'emploi).

adjonction d'un matériau. Pour les lés sous-facés d'un voile de polyester ou de verre, il faut poser sur les joints une bande de pontage non sous-facée (voir la figure 77) ; on risque en effet des problèmes d'infiltration si le sous-façage se prolonge dans le recouvrement. Les lés et le collage doivent être compatibles : il n'est pas possible d'utiliser les colles ou les bandes d'un fabricant sur les lés d'un autre. La largeur du recouvrement dépend du système (soudage à l'air chaud ou collage à froid, type de colle, ...) et est comprise entre 25 et 150 mm. Dans tous les cas, les deux surfaces à assembler doivent être sèches et propres. L'assemblage des recouvrements par collage nécessite beaucoup d'attention et les consignes du fabricant doivent être suivies scrupuleusement.

Les recouvrements sont rendus étanches de différentes manières :

- par **collage à froid** :
  - au moyen de bandes de butyle autoadhésives
    - dans le recouvrement : les bandes de butyle sont soit préintégrées aux lés en usine, soit appliquées séparément sur chantier. Elles doivent dépasser du recouvrement d'au moins 3 mm (voir figure 78)
    - fixant une bande d'EPDM au-dessus du joint bord-à-bord (selon le schéma de la figure 77) : les bandes de butyle sont préin-

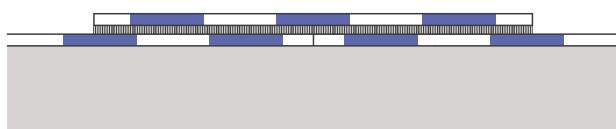


Fig. 77 Joint de recouvrement avec bande distincte.

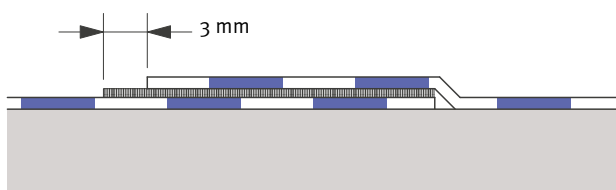


Fig. 78 Joint de recouvrement avec bande de butyle autocollante (dépassement de 3 mm).

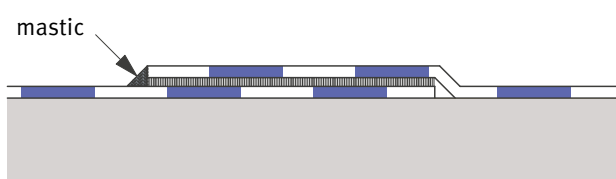


Fig. 79 Joint de recouvrement avec finition au mastic.

tégrées en usine à la bande de pontage en EPDM. Elles doivent dépasser du recouvrement d'au moins 3 mm de chaque côté (voir la figure 80)

- dans les deux cas, si la bande de butyle autoadhésive a été recoupée et ne dépasse pas du joint, ce dernier doit être scellé au mastic (mesure provisoire pour protéger le joint) (figure 79). Un primaire est toujours appliqué au préalable
- au moyen d'une colle ; il peut s'agir :
  - d'une colle rapide entraînant une liaison non élastique ; le joint ainsi collé est parachevé à l'aide d'un mastic (figure 79)
  - d'un matériau de collage et d'étanchéité (*sealant*) de type MS polymère monocomposant, à durcissement rapide, résistant aux rayons UV, aux intempéries, à l'humidité, etc., permettant une bonne adhérence immédiate et nécessitant éventuellement l'utilisation d'un primaire. La largeur du recouvrement doit être d'au moins 50 mm (voir la figure 81)
  - d'une colle de contact à base de butyle ou de polychloroprène : les joints de recouvrement ainsi réalisés sont généralement scellés à l'aide d'un mastic (voir l'attestation d'aptitude à l'emploi ainsi que la figure 79). Ce type de liaison devient de moins en moins fréquent. Le collage à froid réclame davantage de contrôle que les autres méthodes et doit faire l'objet d'une attention particulière lors de l'inspection et de l'entretien de la toiture

**NB** : les colles de contact et les bandes de butyle sont sensibles à la température et à l'humidité

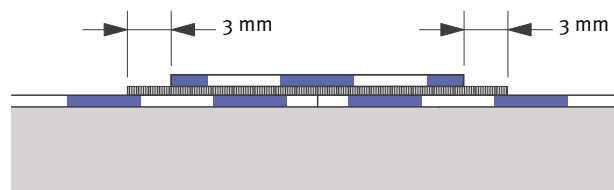


Fig. 80 Joint de recouvrement avec bande de butyle autocollante au-dessus du joint bord-à-bord (dépassement de 3 mm).

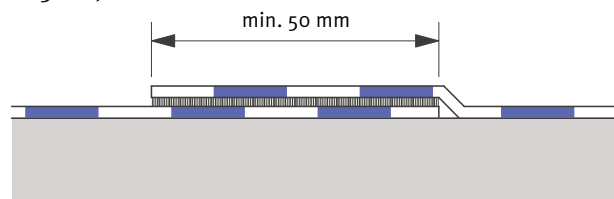


Fig. 81 Joint de recouvrement avec matériau de collage et d'étanchéité.

(min. + 5 °C et max. 80 % d'humidité de l'air), ce qui rend leur application critique en hiver.

La plupart des joints de recouvrement en T doivent être scellés à l'aide d'une pâte appropriée pour remplir le vide créé ou être parachevés au moyen d'un *flashing* (pièce d'EPDM non vulcanisé)

- par **soudage à l'air chaud**
  - de lés en polyéthylène ou en TPE soudables : la bande soudable est apposée sur la face inférieure du lé lors de sa fabrication en usine
  - d'une bande EPDM sous-facée de bandes de polyéthylène ou de TPE soudables au-dessus du joint bord-à-bord : la bande soudable est appliquée en usine sur un support en EPDM, pour être soudée ensuite à l'étanchéité par recouvrement du joint (réalisé en une passe)
  - d'EPDM sous-facé de bitume SBS permettant de souder les recouvrements
- par **vulcanisation** : cette technique, moins courante sur chantier, est surtout utilisée pour réaliser les bâches d'étanchéité préfabriquées, auxquelles on intègre une bande d'EPDM non vulcanisé dans le recouvrement. La vulcanisation s'opère ensuite à haute température et sous pression (*hot bonding*). Ce mode de liaison permet un assemblage homogène. Le joint de recouvrement peut également être vulcanisé sur chantier, bien que le procédé soit fastidieux et limité techniquement aux formes simples.

#### 8.3.2.1.4 Matériaux en EPDM pour détails de toiture

La plupart des fabricants d'EPDM fournissent des pièces moulées préfabriquées et/ou de l'EPDM non vulcanisé (*flashing*) pour assurer la jonction des angles, des passages de conduites et des pièces d'écoulement. Ces matériaux facilitent considérablement la mise en œuvre. Avec l'EPDM non vulcanisé, un certain laps de temps doit toutefois s'écouler après vulcanisation pour que le raccord dispose de sa résistance complète; c'est pourquoi les joints de détails sont dans ce cas scellés au mastic.

Les consignes du fabricant doivent toujours être scrupuleusement respectées. Une concertation entre le concepteur et l'exécutant est souhaitable en ce qui concerne l'usage des accessoires.

### 8.3.3 ÉLASTOMÈRES THERMOPLASTIQUES

Ces matériaux se composent d'un mélange d'élastomères et de plastomères. Il existe, par exemple, des membranes constituées d'un mélange EPDM/PP avec

adjonction d'adjuvants et de pigments, obtenues par calandrage, dont les raccords et recouvrements peuvent être soudés à l'air chaud. Elles peuvent être posées en indépendance, en adhérence ou par fixation mécanique (voir la documentation du produit pour plus de détails).

#### 8.3.4 PLASTOMÈRES (MATIÈRES PLASTIQUES)

Les plastomères se fluidifient à température élevée, ce qui autorise un soudage homogène à l'air chaud (c'est-à-dire sans adjonction de matière). Certains permettent d'obtenir un soudage homogène par voie chimique, en faisant usage d'un solvant (soudage au solvant); cette dernière technique est toutefois de moins en moins courante.

La plupart des fabricants fournissent des pièces moulées préfabriquées dans le même matériau pour assurer la jonction des angles, des passages de conduites et des pièces d'écoulement. Ces matériaux facilitent considérablement la mise en œuvre. Les consignes du fabricant doivent toujours être respectées, y compris en ce qui concerne les accessoires.

Plastomère le plus couramment utilisé actuellement, le PVC est étudié en détail ci-après. Le FPO (souvent appelé TPO), qui lui est similaire quant aux techniques de pose, est également courant.

#### 8.3.4.1 PVC (polychlorure de vinyle)

Les étanchéités en PVC (figure 82) se distinguent principalement par :

- leur composition
- le type d'armature, de sous-façage et de fixation au support
- le type de joint de recouvrement.

Fig. 82 Étanchéité en PVC.



### 8.3.4.1.1 Composition des étanchéités en PVC

Le mélange servant à la fabrication des feuilles comporte du PVC et d'autres composants tels que charges inertes (*fillers*), plastifiants (28 à 40 %, selon le type), agents stabilisants, retardateurs de flamme, antioxydants, colorants, etc. [U8]. Les étanchéités en PVC sont disponibles en diverses teintes. Leur résistance à la diffusion de vapeur est faible par rapport aux autres matériaux d'étanchéité (voir tableau 12, p. 61).

Les plastifiants confèrent au matériau la souplesse requise. Les membranes en PVC perdent toutefois leur souplesse au fil du temps par migration des plastifiants sous l'effet des rayons UV et/ou des microorganismes qui peuvent se développer sous un lestage de gravier. Les fabricants proposent dès lors deux compositions différentes : l'une résistant aux rayons UV, l'autre résistant aux microorganismes. Cette distinction est importante lors du choix du matériau.

Outre le plastifiant et la résine à base de PVC, la membrane contient une quantité plus ou moins importante de stabilisants UV. Si l'étanchéité n'est pas lestée, il convient d'utiliser une qualité résistant aux rayons UV; dans le cas contraire, le lestage peut assurer la protection vis-à-vis de ces rayons, pour autant que l'étanchéité convienne à cet usage. Les relevés de toiture doivent, quant à eux, être protégés des UV.

Si la membrane en PVC entre en contact avec du bitume (étanchéité bitumineuse existante, par exemple), avec du polystyrène expansé ou extrudé ou avec du polyuréthane pourvu d'un parement non compatible, il y a lieu de prévoir une couche de désolidarisation, à moins que la membrane soit munie en sous-face d'un voile de polyester ou ait été renforcée par un plastifiant spécial résistant au bitume.

Le PVC présente généralement une bonne résistance chimique. Dans le cas des étanchéités lestées, les lés

doivent être rendus résistants à certains microorganismes qui altèrent les plastifiants.

La plupart des membranes en PVC sont constituées de plusieurs couches internes pouvant être de composition différente; il convient donc de faire la distinction entre les faces inférieure et supérieure lors de la pose.

### 8.3.4.1.2 Types d'armature et de sous-façage – Technique de fixation au support

Les différents types de lés d'étanchéité en PVC sont présentés au tableau 26.

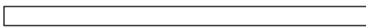





La technique de fixation au support dépend de l'armature ou du sous-façage éventuel :

- en cas de pose en indépendance (lestée), on utilise une membrane armée d'un voile de verre (stabilité dimensionnelle)
- en cas de fixation mécanique, on utilise de préférence une membrane armée de polyester (résistance accrue à la déchirure)
- en cas de collage, on utilise de préférence une membrane sous-facée (pour faciliter l'adhérence), bien qu'un collage soit également possible avec une membrane non sous-facée (uniquement sur les relevés, avec une colle de contact).

Lorsqu'on fait usage de colle à froid (colle de contact, colle PU ou MS-polymère), la membrane et la colle doivent être compatibles (attestation d'aptitude à l'emploi). Plus guère réalisé, le collage au bitume chaud est également envisageable si l'étanchéité est pourvue, entre le sous-façage en voile de polyester et la couche en PVC, d'un film résistant au bitume ou si elle est elle-même résistante au bitume.

En cas de pose en indépendance ou de fixation mécanique, les membranes non armées et certaines membranes sous-facées de polyester nécessitent une

Tableau 26 Types de lés d'étanchéité en PVC.

Description	Abréviation	Schéma
Lés non armés	Po	
Lés avec armature interne en voile de verre	Pi	
Lés avec armature interne en tissu de polyester	Pi	
Lés avec armature interne en voile de verre et sous-façage en voile de polyester	Pci	
Lés avec armature interne en polyester et sous-façage en voile de polyester	Pci	
Lés avec sous-façage en voile de polyester	Pc	

fixation périphérique pour résister aux mouvements thermiques (voir l'attestation d'aptitude à l'emploi) et au retrait (voir § 8.3.4.1.4).

Les types de support de toiture et/ou d'isolation sont précisés au tableau 27 (p. 107).

#### 8.3.4.1.3 Assemblage des recouvrements de lés en PVC

Les recouvrements des lés d'étanchéité en PVC sont soudés de manière homogène à l'air chaud ou à l'aide d'un solvant (tétrahydrofurane THF) :

- **soudage à l'air chaud** : cette technique, la plus courante, est à privilégier; elle peut être réalisée par un procédé automatique ou manuel. La largeur de la soudure est de 20 mm minimum selon la méthode utilisée et les consignes du fabricant (attestation d'aptitude à l'emploi)
- **soudage au solvant** : les lés d'étanchéité sont activés et soudés en appliquant un solvant à l'aide d'un pinceau plat serti ou d'un pinceau applicateur à réservoir. La zone de soudage doit être immédiatement marouflée. La soudure doit présenter une largeur de 30 mm minimum. Ce type de soudure est sensible à la température et à l'humidité. Il ne peut être réalisé qu'à des températures extérieures de plus de 5 °C, lorsqu'il n'existe aucun risque de condensation (ne pas souder un lé humide) et que l'on estime que la soudure ne sera soumise à aucune contrainte mécanique importante pendant les premières heures qui suivent son exécution (vent violent, par exemple). Vu le caractère hygroscopique du solvant, il convient d'éviter ce type de soudage si l'humidité relative de l'air est supérieure à 70 % (c'est-à-dire une grande partie du temps). Cette méthode davantage tributaire des conditions météorologiques que le soudage à l'air chaud (température et humidité de l'air sur chantier) produit une soudure moins régulière, mais peut être utilisée lorsque le soudage à l'air chaud n'est pas possible (membrane non armée, réparations locales, ...).

Pour contrôler la soudure, on passe une fine pointe le long du joint soudé et, au besoin, on parachève le travail à l'air chaud. Le scellement du joint de recouvrement peut être renforcé ultérieurement à l'aide d'une pâte en PVC (attestation d'aptitude à l'emploi).

#### 8.3.4.1.4 Fixation périphérique des étanchéités en PVC

Les étanchéités en PVC se caractérisent par un retrait plus ou moins important selon qu'elles sont non

armées (retrait important), armées de polyester (retrait moyen) ou armées d'un voile de verre (retrait faible).

Il faut dès lors appliquer une fixation périphérique à la transition entre le plan horizontal et le plan vertical de la toiture ainsi qu'autour de tous les raccords, sauf si l'étanchéité est armée d'un voile de verre et lestée (donc posée en indépendance). La manière de réaliser cette fixation est décrite en détail dans la [Note d'information technique n° 244](#) [C10].

#### 8.3.4.2 FPO (polyoléfine flexible)

Les membranes en FPO (ou TPO, pour polyoléfine thermoplastique, terme fréquemment employé également – figure 83) contiennent des charges inertes (*fillers*), des agents stabilisants, des retardateurs de flamme, des antioxydants, des stabilisants UV, des colorants, etc., mais aucun plastifiant volatil. Il n'y a donc pas de perte de souplesse due à la migration de plastifiant dans le temps. Les membranes, qui peuvent être teintées dans la masse, offrent une bonne résistance aux rayons UV et aux produits chimiques. Elles sont disponibles en version non armée, armée ou sous-facée d'un voile.

Tout comme pour le PVC, il convient de faire la distinction entre les faces supérieure et inférieure lors de la pose (plusieurs couches différentes).



Fig. 83 Étanchéité en FPO.

Les techniques de pose sont semblables à celles des membranes en PVC, si ce n'est les différences suivantes :

- les recouvrements ne permettent qu'un soudage thermique; ils sont plus délicats à réaliser et doivent être bien propres (nettoyés, si nécessaire), car une oxydation en surface avant soudage impacterait la qualité de la soudure
- la gamme de températures dans laquelle le FPO peut être soudé est plus réduite que celle du PVC
- pour les membranes plus épaisses ( $\geq 1,5$  mm), les bords doivent être chanfreinés au niveau des recouvrements en T ou une pièce supplémentaire doit être ajoutée
- le FPO ne subissant pas de retrait et présentant un coefficient de dilatation plus élevé que celui du PVC, le plissement de la membrane est difficile à éviter.

#### 8.3.4.3 PIB (polyisobutylène)

Outre le polyisobutylène, les membranes en PIB contiennent des pigments et des charges minérales (pas de plastifiants). Elles présentent une résistance élevée à la diffusion de vapeur et sont toujours sous-facées d'un voile de polyester.

Les modes de fixation possibles au support sont les suivants :

- pose en indépendance avec lestage
- collage : pose en adhérence partielle ou totale au moyen d'une colle synthétique appropriée (voir l'attestation d'aptitude à l'emploi)
- fixation mécanique à l'aide de bandes spéciales insérées sous le lé.

Pour les membranes proposées sur le marché (à notre connaissance), le joint de recouvrement est réalisé par soudage à l'air chaud.

#### 8.3.4.4 ECB ou EBT (copolymère d'éthylène et bitume)

L'ECB est un mélange de couleur noire composé de polymères (éthylène), de bitume et d'adjuvants (pas de plastifiants). Les lés, relativement rigides, sont pourvus d'une armature interne en voile de verre, en voile de polyester ou d'une combinaison des deux. Leur sous-face peut être lisse, revêtue d'un feutre (pour le collage ou la pose en indépendance) ou autoadhésive.

Les membranes peuvent être posées en indépendance avec lestage, collées ou fixées mécaniquement. Le

joint de recouvrement est réalisé à l'air chaud.

L'ECB possède une bonne résistance aux agents chimiques et une élasticité importante.

#### 8.3.4.5 EVA (acétate de vinyle-éthylène)

Une membrane en EVA se compose principalement d'acétate de vinyle-éthylène et de PVC (pas de plastifiant volatil). Selon l'application, les lés sont non armés, armés d'un tissu de polyester ou de verre, sous-facés d'un voile de polyester ou d'un liant autoadhésif (butyle, par exemple). Les recouvrements sont soudés à l'air chaud ou au solvant.

Les lés peuvent être collés (colle de contact, colle PU, ...), lestés ou fixés mécaniquement. La mise en œuvre est identique à celle du PVC.

L'EVA présente une bonne résistance aux UV, au bitume et aux agents chimiques.

Quand elles comportent une armature interne, les membranes EVA sont généralement constituées d'une ou plusieurs couches internes pouvant être de composition différente. Dans ce cas, il convient de faire la distinction entre les faces supérieure et inférieure lors de la pose.

### 8.3.5 MISE EN ŒUVRE DES ÉTANCHÉITÉS SYNTHÉTIQUES

La pose des étanchéités synthétiques diffère d'un produit à l'autre. Il est donc indispensable de se conformer aux consignes du fabricant en n'appliquant que la mise en œuvre agréée dans l'attestation d'aptitude à l'emploi. La pose doit en outre être assurée par un personnel dûment formé à cet effet.

Le mode de pose dépend de la présence éventuelle d'une armature et/ou d'un sous-façage. Le tableau 27 (p. 107) présente les techniques de pose les plus courantes en fonction du support. Des exceptions sont prévues pour certains matériaux ou systèmes d'armature. Si une sous-couche est requise, on utilise les mêmes lés bitumineux que ceux mentionnés comme sous-couches au § 8.2.1 (p. 85).

#### 8.3.5.1 Pose en indépendance

Les étanchéités posées en indépendance avec lestage doivent résister aux microorganismes susceptibles de s'y développer.

Les lés pourvus d'une armature en voile de verre présentent une stabilité dimensionnelle suffisante. En ce qui concerne les lés non armés ou armés de polyester, il est généralement nécessaire de prévoir une fixation mécanique complémentaire au pied des relevés (cf. NIT 244) [C10].

Un voile de désolidarisation doit être interposé entre la membrane et son support en cas d'incompatibilité entre les deux matériaux.

### 8.3.5.2 Exécution collée des étanchéités synthétiques

Dans le cas des étanchéités collées, on utilise généralement des lés sous-facés et ce, pour les raisons suivantes :

- la colle adhère mieux au sous-façage qu'au matériau nu
- selon le support, il est possible d'éviter l'apparition de boursouflures
- le sous-façage permet d'atténuer les irrégularités du support.

La colle doit être prévue spécifiquement pour cet usage et approuvée par le fabricant.

Les techniques qui répondent actuellement à ces critères sont :

- le collage 'simple face' à l'aide de colle PU, de colle à base de polymère ou de colle bitumineuse à froid
- le collage 'double face' à l'aide de colle de contact
- le collage au bitume chaud, bien qu'il ne soit plus guère pratiqué.

Si l'on utilise néanmoins des lés non sous-facés, l'encollage s'effectue généralement à l'aide de colle de contact ou de colle MS-polymère, afin d'assurer une bonne adhérence.

La pose peut s'effectuer en adhérence totale ou en semi-indépendance. La pose en semi-indépendance présente l'avantage que les mouvements du support n'ont pas d'influence défavorable sur l'étanchéité; elle permet en outre de compenser la pression de la vapeur : on évite les boursouflures, mais un certain plissement peut se manifester avec les variations de température. Le choix de la technique de collage dépendra du type de colle utilisé (adhérence et résistance au pelage) ainsi que du support à encoller (cf. l'attestation d'aptitude à l'emploi).

La quantité de colle consommée ou la proportion de surface encollée dépend de la résistance au vent

visée. La consommation varie en fonction du type de colle et de la rugosité du support.

Certaines colles ne conviennent pas lorsque les toitures présentent une pente trop forte. Il peut dans ce cas s'avérer nécessaire de prévoir une fixation mécanique complémentaire dans la partie supérieure du toit.

### 8.3.5.3 Fixation mécanique des étanchéités synthétiques

#### 8.3.5.3.1 Généralités

La fixation mécanique est décrite en détail dans la [Note d'information technique n° 239](#) [C8]. Cette technique offre une solution avantageuse sur des supports vissables ou clouables (nombre de vis ou de clous aisément adaptable en fonction de l'action du vent).

La résistance au vent d'un système est déterminée par des essais dynamiques au vent et figure dans l'attestation d'aptitude à l'emploi.

Les vis et les plaquettes (ou éventuellement les lattes) doivent présenter une résistance suffisante à la corrosion. Les effets dynamiques du vent et la souplesse des étanchéités synthétiques imposent le recours à des vis ou des clous spéciaux. On peut également utiliser des tubes télescopiques synthétiques ou des plaquettes synthétiques avec manchon (figure 84), qui présentent notamment l'avantage de réduire les ponts thermiques et d'éviter le risque de perforation dû au trafic piétonnier (solidité aux pas).

L'étanchéité synthétique doit être compatible avec l'isolation, faute de quoi une couche de désolidarisation est nécessaire. En cas de rénovation sur une étanchéité bitumineuse existante, on s'assurera de la compatibilité des matériaux avec le bitume; s'il y a incompatibilité, une couche de désolidarisation s'impose.

La fixation mécanique à travers le verre cellulaire est autorisée à condition que les panneaux d'isolation soient collés. Il convient en outre de se conformer aux consignes du fabricant de verre cellulaire.

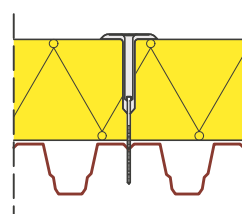


Fig. 84 Tube télescopique synthétique.

On consultera l'attestation d'aptitude à l'emploi de la membrane choisie pour s'assurer que la pose prévue est autorisée : la compatibilité, le type de colle, le sous-façage et le joint de recouvrement peuvent en effet limiter, à des degrés divers, les possibilités d'application.

Les plaquettes dont la forme n'est pas ronde doivent être positionnées de telle façon que leur longueur se situe dans le sens du joint, afin d'éviter de créer des contraintes ponctuelles qui pourraient déchirer l'étanchéité.

### 8.3.5.3.2 Systèmes de fixation mécanique pour étanchéités synthétiques

On distingue les systèmes de fixation mécanique suivants :

- pour les **lés non sous-facés**, la méthode illustrée à la figure 85 ne peut s'appliquer que s'ils présentent une résistance suffisante à la déchirure au clou (150 N minimum) et que le joint de recouvrement est suffisamment résistant (les bandes non armées ne conviennent pas, sauf spécification contraire du fabricant). En cas d'EPDM non armé, la fixation dans le recouvrement ne peut dès lors s'opérer que

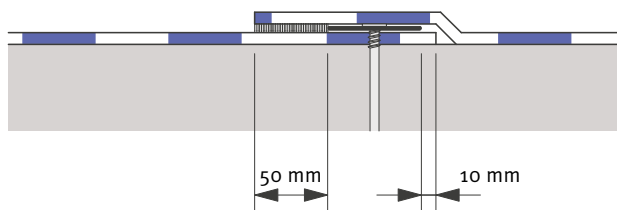


Fig. 85 Fixation mécanique de lés synthétiques non sous-facés.

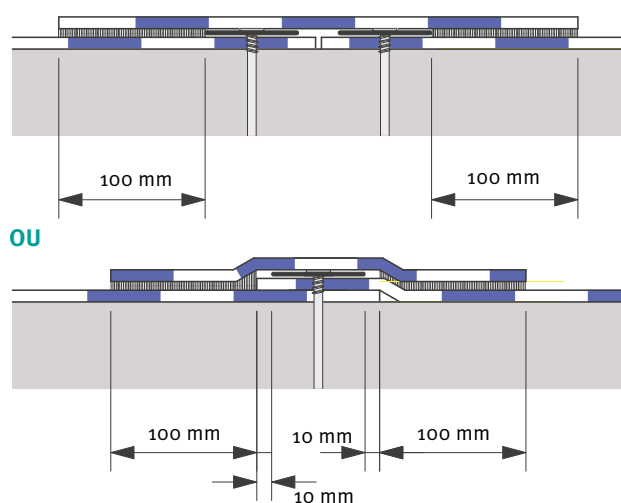


Fig. 87 Deux modes de fixation dans le recouvrement en cas de lés synthétiques entièrement sous-facés.

selon le schéma de la figure 86 (sauf spécification contraire du fabricant). Le collage non apparent n'est pas réparable et doit donc être effectué avec le plus grand soin

- pour les **lés sous-facés** : s'ils sont entièrement sous-facés, le joint de recouvrement ne peut être réalisé qu'au moyen d'une autre bande non sous-facée (figure 87); si les lés disposent d'une lisière non sous-facée, on applique la méthode illustrée à la figure 85 :
  - lorsque la fixation s'effectue au moyen de vis sur des lattes d'ancrage, à travers la membrane, il convient de prévoir une bande de protection complémentaire (figure 88)
  - fixation sous l'étanchéité : on fixe d'abord mécaniquement une plaque métallique revêtue d'un matériau soudable compatible avec le matériau d'étanchéité ou une bande tirée du même lé synthétique. La membrane est soudée par induction sur la plaque métallique ou la bande synthétique (voir figure 89).

Il existe d'autres systèmes sur le marché, pour lesquels on se référera aux consignes du fabricant.

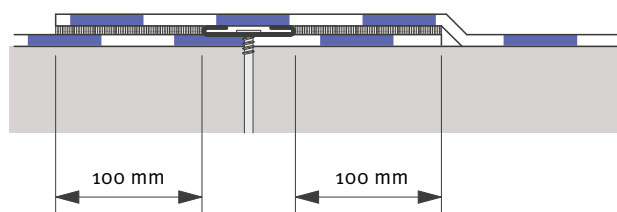


Fig. 86 Fixation dans le recouvrement d'un EPDM non armé.

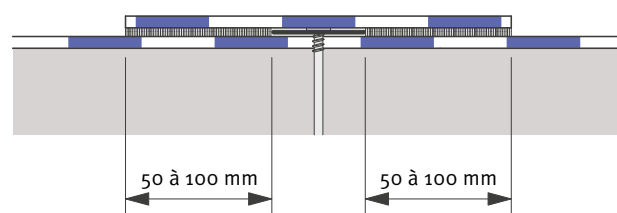


Fig. 88 Fixation à travers une membrane synthétique.

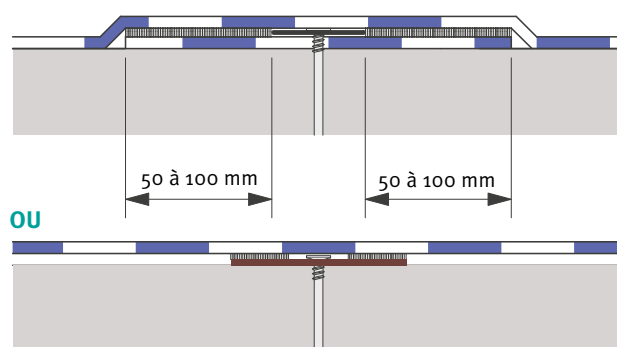


Fig. 89 Deux modes de fixation mécanique sous une étanchéité synthétique.

Tableau 27 Techniques de pose courantes des étanchéités synthétiques en fonction du support (voir l'annexe 4, p. 149, pour la signification des abréviations).

Support	Parement	Indépendance (L)	Adhérence totale (T)	Adhérence partielle (P)	Fixation mécanique (M) (1)	
Toiture isolée	PU	Aluminium (monocouche)	–	–	MV <sup>VI</sup> (9)	
		Aluminium (multicouche)	LL <sup>I</sup>	TC <sup>II</sup> (2)(3), TAC <sup>III</sup> (4)		PC <sup>V</sup> (3), PAC <sup>III</sup> (3)
		Voile de verre bitumé		TC <sup>II</sup> (2)		PC <sup>V</sup>
		Voile de verre minéralisé		TC <sup>II</sup> (2), TAC <sup>III</sup> (4)		PC <sup>V</sup> , PAC <sup>III</sup> (3)
	EPS	Sans parement		LL <sup>I</sup>		TC <sup>II</sup> (2)(5), TAC <sup>III</sup> (6)(7)
		Voile de verre bitumé	TC <sup>II</sup> (2), TAC <sup>III</sup> (7), TS <sup>V</sup> (8)			PC <sup>V</sup> , PAC <sup>III</sup> (7)
	CG	Sans parement	–	TBs, TBc, (TBb)		–
		Imprégné de bitume + film thermofusible	–	TS, TSs		(PLs, PS, PSs)
		Imprégné de bitume + parement	LL <sup>I</sup>	–		–
	MW, EPB	Sans parement	LL <sup>I</sup>	–		–
Voile de verre		TC <sup>II</sup> (2), TAC <sup>III</sup> (7), TS <sup>IV</sup> (7)				
Imprégné de bitume + film thermofusible		TS <sup>IV</sup>				
<b>Étanchéité bitumineuse existante (10)</b>		LL <sup>I</sup>	TC <sup>II</sup> (2), TAC <sup>III</sup> (7), TS <sup>IV</sup> (11)	PC <sup>V</sup> , (PAC) <sup>III</sup> (7)		
Toiture non isolée (12) ou inversée	Béton et béton de pente léger	LL <sup>I</sup>	TC <sup>II</sup> (2)(13), (TAC) <sup>III</sup> (7)(13), TS <sup>IV</sup> (13)	PC <sup>V</sup> , (PAC) <sup>III</sup> (7)	MV <sup>VI</sup> (14), MN <sup>VI</sup> (14)	
	Panneaux de béton cellulaire		TC <sup>II</sup> (2)(15), (TAC) <sup>III</sup> (7)(15), TS <sup>V</sup>	PC <sup>V</sup> (15), (PAC) <sup>III</sup> (7)(15)	MV <sup>VI</sup> , MN <sup>VI</sup> (16)	
	Multiplex, fibrociment, panneaux à base de bois	(LL) <sup>I</sup>	TC <sup>II</sup> (2)(17), (TAC) <sup>III</sup> (7), TS <sup>IV</sup>	PC <sup>V</sup> (17), (PAC) <sup>III</sup> (7)	MV <sup>VI</sup> , MN <sup>VI</sup>	
	Panneaux en fibres de bois liées au ciment		TC <sup>II</sup> (2)(15)	–	–	
	Plancher en bois		–	–	MV <sup>VI</sup> , MN <sup>VI</sup>	

(...) : technique de fixation admise, mais peu courante ; – : aucune technique de fixation admise ou combinaison impossible.

- |  |   |
|--|---|
| <p>I (couche de désolidarisation+) Eo-Ec-Eb-Ei-Po-Pi-Pc<br/>                 II (vernis d'adhérence +) Eo-Ec-Eb-Ei-Pc-Po<br/>                 III (vernis d'adhérence +) Eb-Ea-Pa<br/>                 IV (vernis d'adhérence +) Eb<br/>                 V (vernis d'adhérence +) Ec-Eb-Pc-Ei<br/>                 VI (couche désolidarisation +) Eo-Ei-Eb-(Ec)-Po-Pi-(Pc)</p> | <p>Po : lé plastomère non revêtu<br/>                 Pi : lé plastomère avec armature interne<br/>                 Pc : lé plastomère revêtu d'un voile ou d'un film de polyester avec ou sans armature interne<br/>                 Pa : lé plastomère revêtu d'un sous-façage autoadhésif<br/>                 Eo : lé élastomère non revêtu<br/>                 Ec : lé élastomère revêtu d'un voile ou d'un film de polyester<br/>                 Eb : lé élastomère avec sous-façage bitumineux et armature interne<br/>                 Ei : lé élastomère avec armature interne<br/>                 Ea : lé élastomère revêtu d'un sous-façage autoadhésif</p> |
|--|---|

- (1) Dans le cas d'une toiture isolée, la fixation s'effectue dans le support de toiture, à travers l'isolation. Il en va de même pour les étanchéités bitumineuses existantes.
- (2) Il y a lieu de vérifier la compatibilité entre la colle et l'isolation. Un risque de cloquage entre le parement supérieur de l'isolation et l'étanchéité est à craindre en cas de surplus de colle et de parement étanche (aluminium).
- (3) Voir les parements possibles dans la documentation du fabricant.
- (4) Pour les supports possibles, on se référera à la documentation du fabricant, en tenant compte du fait que le résultat final peut ne pas être parfaitement plat.
- (5) Cette technique n'est autorisée que si on utilise de la colle PU sans solvant.
- (6) Les recouvrements doivent être soudés sans endommager l'EPS (recouvrement plus large, double joint, ...).
- (7) Voir les supports possibles dans la documentation du fabricant; un primaire sera généralement nécessaire.
- (8) Le parement doit être suffisamment épais.
- (9) Le mode de fixation dans le support à travers l'isolation est le même que pour une toiture non isolée ou inversée. S'il s'agit de verre cellulaire, les panneaux d'isolation doivent être collés sur le support; de plus, les fixations mécaniques comporteront une plaquette de répartition (généralement synthétique) pourvue d'un manchon à tête de vis mobile (système télescopique).
- (10) Les étanchéités sans sous-façage ne peuvent s'appliquer que si elles sont compatibles avec le bitume (cf. chapitre 10, p. 123).
- (11) Cette technique est applicable uniquement sur support sec.
- (12) L'entrepreneur d'étanchéité peut, au besoin, informer son client de la réglementation thermique.
- (13) Pour éviter les boursoufflures, la pose en adhérence totale ne sera réalisée que sur des toitures lestées ou sur béton sec.
- (14) La fixation s'effectue à travers le béton de pente, dans le support de toiture en béton sous-jacent.
- (15) Des bandes libres sont posées sur les joints d'about.
- (16) On utilise des clous spécialement conçus pour cet usage.
- (17) Dans le cas d'une mise en œuvre en adhérence totale, on pose des bandes libres sur tous les joints pour éviter tout écoulement de primaire ou de colle et limiter l'influence des mouvements.

#### 8.4 ÉTANCHÉITÉS MISES EN ŒUVRE À L'ÉTAT LIQUIDE

Les étanchéités liquides se composent d'un mélange de liants, de pigments et d'adjuvants, auquel on peut éventuellement ajouter des matières de charge et d'autres additifs (agents de protection contre l'incendie, fongicides, etc.). On les applique sous forme liquide, sans joint, à la brosse, au rouleau, au pistolet ou à l'aide d'un embout de projection à têtes multiples (pour les produits multicomposant), puis on les laisse durcir.

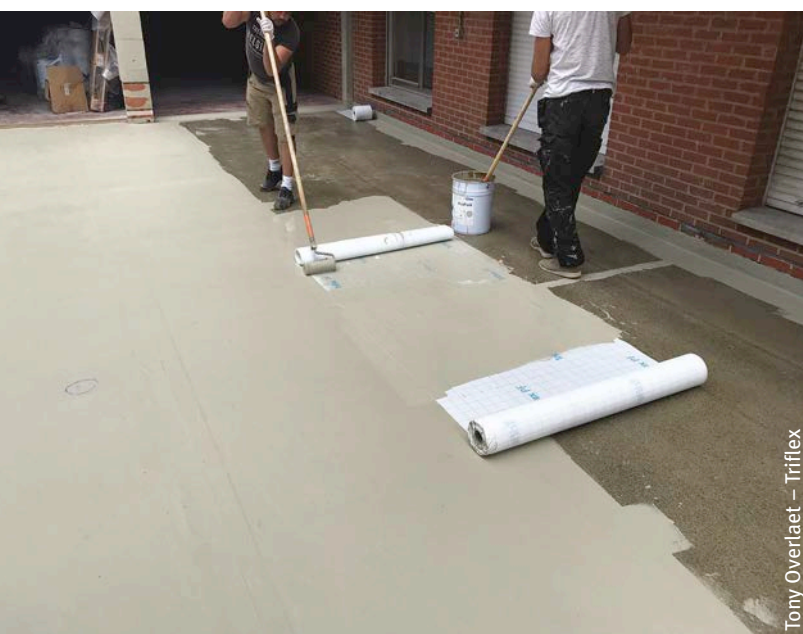
Elles sont la plupart du temps mises en œuvre en deux couches sur des supports stables (béton, étanchéité existante, ...), avec ou sans interposition d'une armature. Le système est présumé **bicouche** s'il est constitué de deux couches distinctes, la seconde ne pouvant être appliquée qu'après séchage complet de la première. Si le système comporte une armature, la surface de celle-ci devra être imprégnée du produit d'étanchéité (ou, éventuellement, être marouflée) dès son intégration à la première couche. Lorsque les deux couches d'étanchéité ont pour seule fonction d'enrober l'armature ('frais dans frais'), le système est réputé **monocouche** [C12]. Dans ce cas, on vérifiera visuellement que l'armature est entièrement saturée de liquide. S'il n'y a pas d'armature, l'épaisseur peut être contrôlée, d'une part, ponctuellement au moyen d'une jauge d'épaisseur de feuil humide et, d'autre part, sur la base de la consommation de produit (on obtient dans ce cas une valeur moyenne).

Les produits les plus courants sont les résines polyuréthanes (PU), les polyméthylméthacrylates (PMMA), les polyesters insaturés (UP/PES), les polymères modifiés silane (*silyl modified polymers* – SMP) et les résines hybrides PU-PMMA (PUMA). La possibilité ou la nécessité d'intégrer une armature au système dépend de la présence de fissures dans le support en béton (toiture non isolée ou inversée), de la capacité du produit à ponter les fissures et de son aptitude à recevoir une armature (cette solution n'est pas toujours réalisable techniquement). Les détails et points singuliers doivent être armés dans tous les cas. Il est également possible d'armer une étanchéité liquide au moyen de fibres.

Les étanchéités mises en œuvre à l'état liquide et leurs caractéristiques sont décrites dans le guide d'agrément EAD 030350-00-0402 (qui remplace l'ETAG 005) [E3], G0003 [U1] et ETAG 033 [E5] pour ce qui concerne les surfaces accessibles à la circulation de véhicules (voir aussi la **NIT 253**) [C12]. Les critères repris aux tableaux 29 à 32 (pp. 109 et 110) doivent être respectés : le fabricant doit en apporter la garantie via une déclaration de conformité (organisme de contrôle externe).

Avant durcissement, le produit est plus ou moins sensible aux conditions atmosphériques (température, humidité, ...) et au degré d'humidité du support. Il faut compter un certain laps de temps avant que la couche n'offre une résistance à la pluie et au gel. Les systèmes appliqués à l'état liquide sont, pour cette raison, plus délicats que les étanchéités fabriquées en usine et exigent une mise en œuvre soignée – notamment une épaisseur contrôlée – réalisée par un personnel spécialement formé à cet effet.

Leur champ d'application et les incompatibilités éventuelles sont décrits dans l'attestation d'aptitude à l'emploi ou la documentation du fabricant. Les produits d'étanchéité liquides conviennent aux toitures non isolées et aux toitures inversées; ils sont appliqués directement sur le support en béton. Une application très courante consiste à les réserver aux ouvrages de raccord, plus difficiles à réaliser avec la membrane d'étanchéité située en partie courante. Le cas échéant, il y a lieu d'apporter la preuve de la compatibilité des deux matériaux et de leur aptitude à être liaisonnés. Pour plus d'informations à ce sujet, nous renvoyons au chapitre 9 de la **Note d'information technique n° 244** [C10]. Leur application en toiture chaude, directement sur l'isolant, n'est pas répandue à l'heure actuelle, si ce n'est sur une sous-couche bitumineuse (*carrier membrane*) (cf. **Les Dossiers du CSTC 2013/2.6**) [M4]. Si l'étanchéité liquide a été testée sur une isolation selon sa déclaration de conformité ou un document équivalent, on peut aussi utiliser le système sur des toitures chaudes.



Tomy Overlaet – Triflex

Fig. 90 Application d'une étanchéité liquide.

Tableau 28 Exigences de performances de l'étanchéité liquide selon son usage.

Application	Pas de couche de protection supplémentaire	Avec protection intégrée	Avec lestage ou dallage
Toiture non isolée	$\geq W_3 (*) - P_2 - TL_2 - TH_2$	$\geq W_3 (*) - P_3 - TL_2 - TH_2$	
Toiture isolée	$\geq W_3 (*) - P_2 - TL_3 - TH_3$	$\geq W_3 (*) - P_3 - TL_3 - TH_3$	$\geq W_3 (*) - P_3 - TL_2 - TH_2$
Toiture-terrasse	$\geq W_3 (*) - P_3 - TL_3 - TH_3$		$\geq W_3 (*) - P_3 - TL_2 - TH_2$

(\*) W2 si le système est appliqué sur une sous-couche étanche.

Tableau 29 Signification des classes de performance du tableau 28 (EAD 030350-00-0402) [E3].

Classe	Signification	
W1	Durée de vie	5 ans
W2		10 ans
W3		25 ans
P1	Charges d'utilisation	Faibles – Toiture non accessible
P2		Modérées – Toiture accessible uniquement pour l'entretien
P3		Normales – Toiture accessible aux piétons
P4		Spéciales – Toiture verte
TL1	Température de surface minimale	+5 °C (toutes zones climatiques)
TL2		-10 °C (température 'basse modérée')
TL3		-20 °C (température très basse)
TL4		-30 °C (température extrêmement basse)
TH1	Température de surface maximale	+30 °C (toutes zones climatiques)
TH2		+60 °C (température 'élevée modérée')
TH3		+80 °C (température très élevée)
TH4		+90 °C (température extrêmement élevée)

Tableau 30 Épaisseur minimale des principaux types d'étanchéités liquides.

Type	Épaisseur minimale (*)
PU 1c	1,50 mm
UP/PES	2,00 mm
PMMA	1,80 mm
PUMA	1,80 mm
SMP	2,00 mm

(\*) Il s'agit d'une épaisseur minimale en tout point (pas d'une moyenne); pour l'épaisseur minimale des couches, on se référera au tableau 31 et à l'attestation d'aptitude à l'emploi du fabricant, en tenant compte des classes de performance du tableau 29.

Tableau 31 Épaisseur minimale des couches d'étanchéité liquides.

Type de couche	Épaisseur minimale (*)
Primaire	0 ou 0,3 à 0,5 mm
Couche d'étanchéité avec voile de renfort intégré	1,5 ou 2 mm
Couche d'usure ou de protection + quartz saupoudré à refus dans la couche d'usure	0 ou 2,5 mm
Couche de finition	0,3 à 0,6 mm
Système complet	2,6 à 4,9 mm

(\*) L'épaisseur minimale diffère notamment en fonction du type de support, de la charge mécanique et de sa fréquence.

### 8.4.1 TYPES D'ÉTANCHÉITÉS LIQUIDES [C12, C19]

Le tableau 32 permet de comparer les principales caractéristiques des différents types d'étanchéités liquides.

#### 8.4.1.1 Résines polyuréthannes (PU)

Les résines PU sont monocomposant ou bicomposant. Les premières durcissent par contact avec l'humidité de l'air, les secondes par réaction chimique (adjonction d'un durcisseur).

La plupart des résines PU utilisées en toiture sont des PU monocomposant. Les PU *moisture triggered* (qui polymérisent à l'humidité) sont moins sensibles aux conditions atmosphériques pendant leur application et leur durcissement que les PU *moisture cured* (durcissant à l'humidité) qui peuvent réagir avec l'eau ou la pluie, et gonfler ou former du CO<sub>2</sub> qui affaiblira le film.

Il existe des PU aromatiques et des PU aliphatiques.

Les premiers résistent moins bien aux rayons UV (stabilité de la teinte non garantie, risque de farinage).

Les résines PU sont appliquées au rouleau ou par projection. Certains systèmes peuvent aussi être appliqués à la spatule dentelée. Les détails de toiture sont en général exécutés à la brosse. L'application d'un monocomposant est plus simple, puisqu'on utilise la même composition de produit pour toutes les températures ambiantes, pour les surfaces horizontales et les relevés.

#### 8.4.1.2 Résines de polyméthylméthacrylate (PMMA)

Les polyméthacrylates de méthyle (résines PMMA) se forment par polymérisation en présence d'un catalyseur dosé d'après la température d'application. Selon le type de résine et son adaptation, il est possible de fabriquer des produits de dureté variable, voire des produits mous en fonction des exigences. La viscosité des résines polymères liquides est généralement très basse. Dans des cas exceptionnels, des produits

Tableau 32 Principales caractéristiques des étanchéités liquides et valeurs habituellement admises.

Caractéristique	PU 1c	UP/PES	PMMA	PUMA	SMP
Nombre de composants	1C	2C-3C	2C	2C-3C	1C
Présence de solvants	Oui	Non			
Possibilité d'application 'frais dans frais' (ou non, c'est-à-dire après séchage de la première couche)	Non	Oui			
Durée d'ouvrabilité ( <i>pot life</i> ) <sup>(1)</sup>	1 à 2 h	15 à 25 min	15 à 25 min	15 min	1 à 2 h
Délai avant résistance à la pluie <sup>(1)</sup>	2 h	1 h	30 min	1 h	1 h
Délai de recouvrabilité <sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>	8 h	2 h	45 min	45 min	8 h
Temps de durcissement complet <sup>(1)</sup>	48 h	48 h	8 h	3 h	48 h
Résistance aux alcalis <sup>(3)</sup>	+	++	+++	+++	+
Résistance à l'hydrolyse (eau stagnante) <sup>(3)</sup>	+	++	+++	++	++
Nécessité d'une protection UV	Oui, si PU aromatique	Non	Non	Oui	Non
Température de mise en œuvre	5 à 35 °C	5 à 35 °C	0 à 35 °C	0 à 35 °C	5 à 35 °C
Humidité relative maximale de l'air	85 %				
Humidité maximale du support <sup>(4)</sup>	4 à 8 % selon le produit et le type de primaire du fabricant				
Présence d'une armature	Oui				

<sup>(1)</sup> À 20 °C et 50 % HR.  
<sup>(2)</sup> C'est-à-dire avant application d'une couche supérieure.  
<sup>(3)</sup> + = résistance limitée, ++ = bonne résistance, +++ = excellente résistance.  
<sup>(4)</sup> Mesurée au moyen de la bombe à carbure.

modifiés peuvent être appliqués jusqu'à une température de -5 °C sans prolongation du délai de durcissement ni dégradation des propriétés.

Pour des applications sous forme d'étanchéité de toiture, la résine PMMA est pourvue d'une armature, telle qu'un polyester non tissé ou des fibres synthétiques incorporées au produit.

Les résines PMMA sont appliquées au rouleau ou au pinceau en couche d'épaisseur appropriée. En cas d'application verticale (détails), leur thixotropie doit être ajustée (épaississement) pour éviter tout écoulement.

#### 8.4.1.3 Résines de polyester insaturées (UP ou PES)

Les polyesters insaturés se forment par réaction de polyols avec des acides dibasiques insaturés en présence d'un catalyseur ou d'un initiateur à dosage fixe (peroxyde). L'utilisation d'additifs tels que le styrène diminue la viscosité de la résine.

Les polyesters sont thermodurcissables; comme pour toute autre résine, la réaction de durcissement est exothermique. Une température minimale d'application de +5 °C doit être respectée pendant la durée de polymérisation.

Pour les applications en toiture, les résines de polyester sont armées d'un polyester non tissé. Les produits sont appliqués au rouleau, au pinceau ou au pistolet.

#### 8.4.1.4 Résines de polymères modifiés silane (*silyl modified polymers* – SMP : MS, SPUR, STPE)

Les polymères modifiés silane sont des résines monocomposant qui durcissent par contact avec l'humidité de l'air. Comme ils ne contiennent pas de solvant (et sont inodores), il est possible d'appliquer la seconde couche d'étanchéité sur la première 'frais dans frais'.

Les résines SMP sont appliquées au rouleau, à la brosse, à la spatule dentelée ou par projection. Les détails de toiture sont en général exécutés à la brosse. Il existe également des résines SMP à haute viscosité qui permettent une exécution aisée des détails verticaux.

#### 8.4.1.5 Résines hybrides PU-PMMA (PUMA)

Les résines PUMA, à base de méthacrylate de méthyle (MMA) et de polyuréthane (PU), sont des systèmes

hautement réactifs à polymérisation rapide à un ou deux composants comportant un initiateur de réaction (peroxyde).

Selon le type de charge mécanique prévue sur la toiture, une couche d'usure supplémentaire peut éventuellement être appliquée sur la membrane d'étanchéité (protection complémentaire).

Les produits sont appliqués par projection, à la raclette, au rouleau, à la spatule dentelée ou à la brosse. Ils sont généralement munis d'une armature en polyester ou en microfibres synthétiques mélangées au produit.

#### 8.4.1.6 Autres types d'étanchéités liquides

Outre les produits susmentionnés, il existe d'autres types d'étanchéités liquides, moins courants en toiture. Citons notamment :

- les **résines polyuréthiques (PUE)**, produits à deux composants durcissant rapidement (il est donc impossible d'y incorporer une armature) et projetés à chaud. Les raccords, les réparations ultérieures et l'adhérence entre couches nécessitent une attention particulière. Le taux d'humidité avant la pose est moins déterminant pour ces résines que pour la plupart des produits d'étanchéité liquides

- les **émulsions et solutions à base de bitume modifié par des polymères [E3]**, appliquées à la brosse, pulvérisées ou épandues, avec ou sans couche-support, armature interne et/ou protection en granulats minéraux, paillettes ou revêtement réfléchissant.

Par 'émulsion', on entend une quantité substantielle de bitume modifié par des polymères, finement dispersé dans un milieu aqueux par un ou plusieurs agents émulsifiants appropriés. L'émulsion peut également contenir des charges inertes et/ou des fibres. Elle est appliquée au pinceau, vaporisée ou étalée.

Par 'solution', on entend un mélange de bitume modifié par des polymères et de solvants organiques volatils, pouvant contenir des charges inertes (*fillers*) ou des fibres. Ce liquide visqueux ou pâte peut être appliqué à la brosse, pulvérisé ou étalé

- les **produits à base de bitume modifié par des polymères appliqués à chaud [E3]**, fournis en pains à faire fondre *in situ*, versés et étalés, puis pourvus d'une couche de protection. Le système, renforcé ou non, peut être appliqué sur des supports en béton, en bois, en métal, etc. Il est toujours recouvert d'une isolation (toiture inversée), d'une protection lourde ou d'une toiture verte

- les **polymères en dispersion dans l'eau** [E3], pulvérisés ou étalés, avec ou sans couche-support, armature interne et/ou couche de protection. La couche de base faisant fonction d'étanchéité est constituée d'une ou plusieurs couches, avec ou sans armature interne; le liant est de type acrylique, vinyacrylique, styrène-acrylique ou copolymère styrène-butadiène. La couche de finition peut avoir plusieurs fonctions, telles que la protection contre les effets du climat, l'amélioration des propriétés antidérapantes ou l'amélioration de l'aspect.

#### 8.4.2 MISE EN ŒUVRE DES ÉTANCHÉITÉS LIQUIDES [C12]

L'application directe d'une étanchéité liquide sur un support en béton requiert une bonne préparation de ce dernier. Ces produits faisant toujours l'objet d'une pose en adhérence totale, la surface de contact nécessite un traitement adéquat et une cohésion de surface suffisante (voir le chapitre 4, p. 41). Le support doit être remplacé ou corrigé s'il n'est pas adéquat. Une rugosité excessive sera rectifiée au moyen d'une couche d'égalisation (mélange de sable et de résines synthétiques).

Les produits d'étanchéité liquides doivent être appliqués sur un support sec (pour éviter des problèmes d'adhérence et de cloquage). On se référera aux instructions du fabricant au sujet des critères précis à satisfaire. Le taux d'humidité du support devra être mesuré en profondeur (4 cm; à la bombe à carbure, par exemple) et pas seulement en surface.

Pour ce qui concerne la compatibilité des étanchéités liquides avec les différents supports, on consultera le tableau 13 de la [Note d'information technique n° 244](#) [C10]. La pose d'un primaire s'avère généralement indispensable. Le primaire à utiliser est spécifié par le fabricant du produit d'étanchéité liquide.

Dans le cas d'une application sur une couche d'isolation, une sous-couche (*carrier membrane*) est d'abord placée sur l'isolation. Elle doit être posée en adhérence (partielle ou totale; autoadhésive, collée, soudée, ...) si le système de toiture est en adhérence (pas de lestage), puisque c'est sur elle que s'exercera la charge de vent. Les joints de cette sous-couche seront rendus étanches. On fera, si possible, remonter la sous-couche le long des relevés sur une hauteur de 50 mm par rapport à la surface de la toiture, mais si cette remontée est de nature à compromettre l'efficacité et la pérennité du raccord, il est opportun d'arrêter la membrane dans le plan de la toiture [C10]. La compatibilité entre cette sous-couche et l'étanchéité

liquide doit bien entendu être vérifiée (voir la documentation du fabricant).

La sensibilité de la plupart des composants à la température et à l'humidité rend l'application des produits particulièrement délicate. Il convient dès lors de s'informer systématiquement auprès du fabricant au sujet des conditions climatiques requises lors de la mise en œuvre (tant à basse qu'à haute température). En cas de pluie soudaine au cours de la mise en œuvre, il faut éliminer le produit fraîchement posé ou restaurer l'étanchéité après séchage. Les étanchéités résineuses ne peuvent être utilisées en présence d'humidité (pluie, rosée, brouillard, etc.). Il convient également de contrôler la température ambiante au cours de l'application et du processus de polymérisation (voir le fabricant). La mise en œuvre ne peut être réalisée que lorsque la température du support est supérieure d'au moins 3 °C à celle du point de rosée.

On s'informerera en outre auprès du fabricant pour connaître les dosages, les quantités à appliquer, les délais à respecter entre l'application des couches successives ainsi que le matériel à utiliser pour la mise en œuvre du produit et les dispositions à prendre pour la réalisation des joints de reprise.

Pour des raisons pratiques, on commence généralement la mise en œuvre par les ouvrages de détail, qui comportent toujours une armature et un recouvrement de 100 mm minimum avec la partie courante de la toiture. Les fissures et les joints en partie courante exigent également un traitement spécifique préalable.

En présence d'un système armé d'un voile, l'armature doit être posée avec un recouvrement d'au moins 50 mm; on veillera à ce qu'elle soit saturée de produit lors de la mise en œuvre. Pour limiter le risque de *pinholes* (trous d'épingle) et offrir une garantie supplémentaire, les systèmes armés de fibres sont appliqués de préférence en deux couches, mais une pose en une seule couche plus épaisse est possible également.

Les joints de reprise des différentes couches doivent être décalés d'au moins 50 mm les uns par rapport aux autres.

La mise en œuvre d'une étanchéité liquide s'accompagne parfois d'une évaporation partielle des composants réactifs. Si ces derniers sont très concentrés, leur évaporation peut faire encourir des risques pour la santé. Il est dès lors recommandé de se référer aux fiches de sécurité des produits.

## 8.5 AUTRES TYPES D'ÉTANCHÉITÉS

Les produits d'étanchéité évoluent constamment et l'on voit régulièrement apparaître de nouveaux matériaux, tels que les étanchéités à base d'huiles végétales (sans bitume ni produit dérivé du pétrole). Il est évident que l'expérience fait encore défaut en la matière. On se référera dès lors à la documentation du fabricant pour ce qui concerne leurs caractéristiques et leur mise en œuvre.

## 8.6 CONTRÔLE DE L'ÉTANCHÉITÉ À L'EAU DES REVÊTEMENTS

Après la pose du système d'étanchéité, on s'assurera, par une inspection visuelle, de la bonne exécution et de la bonne étanchéité des joints (recouvrement des membranes, joints de reprise des produits liquides), des points singuliers et des raccords. Dans le cas de produits mis en œuvre sous forme liquide, il faut également contrôler l'homogénéité du mélange (absence de ségrégation) et l'épaisseur de la couche appliquée (moyenne calculée sur la base de la consommation de

matériau). Si des travaux sont réalisés par d'autres corps de métier après la pose de l'étanchéité, il convient de s'assurer de l'intégrité de celle-ci avant toute autre intervention.

La mise sous eau d'une toiture plate à pente légère ou sans pente permet de déterminer si le revêtement est ou non étanche à l'eau au moment de l'essai. Cette procédure est utile pour les toitures non isolées ou inversées. Sur une toiture isolée, elle présente peu d'intérêt; en effet, si le pare-vapeur est correctement posé, les fuites éventuelles ne se manifesteront pas dans les locaux sous toiture, mais se matérialiseront plutôt par une humidification de l'isolant. Pour une description détaillée de la procédure, on consultera les [Notes d'information technique n° 229](#) et [n° 253](#) [C6, C12].

La détection des fuites peut être réalisée par d'autres techniques (humidimètre, injection de fumée, impulsion électrique, etc.), mais celles-ci conviennent surtout pour déterminer l'origine d'une fuite constatée et non pour fournir la garantie que la toiture est exempte de fuite.



# 9

## PROTECTION DE L'ÉTANCHÉITÉ

Les couches de protection sont de type léger ou de type lourd.

Les **protections légères** peuvent remplir trois fonctions : protection vis-à-vis des rayons UV, limitation de la température superficielle en cas d'ensoleillement et amélioration de l'aspect.

Les **protections lourdes** remplissent également ces fonctions, mais elles permettent surtout de compenser l'action du vent (tant sur une toiture chaude que sur une toiture inversée) et autorisent éventuellement une circulation plus intense sur la toiture (terrasses, chemins de circulation). Sur une toiture inversée, elles ont en outre pour but d'empêcher le flottement des panneaux d'isolation.

Les couches de protection lourdes et certaines couches de protection légères ont pour effet d'améliorer le comportement de la toiture vis-à-vis d'un incendie extérieur (voir § 2.2.3, p. 21). Pour rappel, une toiture répond d'office aux exigences en matière d'incendie (sans qu'il soit nécessaire de réaliser un essai) si elle est entièrement recouverte de gravier (minimum 50 mm d'épaisseur ou 80 kg/m<sup>2</sup>, granulométrie de 32 mm maximum et de 4 mm minimum), d'une chape en mortier de ciment (30 mm d'épaisseur minimum), de pierre reconstituée ou de dalles minérales d'au moins 40 mm d'épaisseur [C23]. Ces protections ne permettent toutefois pas systématiquement de reprendre l'action du vent (voir plus loin).

### 9.1 COUCHES DE PROTECTION LÉGÈRES

#### 9.1.1 MEMBRANES BITUMINEUSES

Une protection légère peut être constituée :

- de paillettes d'ardoise ou de fins granulats de différentes couleurs incorporés à la membrane en usine; ces matériaux sont souvent présents sur la membrane en quantité excédentaire, de sorte qu'une partie peut s'en détacher au fil du temps (voir également le chapitre 11, p. 131)
- de peinture (*coating* blanc réfléchissant, par

exemple), dont la qualité et la tenue dans le temps sont très variables d'un produit à l'autre. Il convient de vérifier sa compatibilité avec la membrane et de tenir compte d'un entretien accru

- d'une membrane bitumineuse dont la face supérieure est pourvue d'une feuille d'aluminium ou de cuivre gaufrée incorporée en usine. Ces étanchéités doivent être posées avec une pente minimale de 5 %. Peu répandues aujourd'hui sur le marché, elles ont fait l'objet d'expériences malheureuses (décollement de la couche métallique) (voir chapitre 12, p. 133). Les membranes pourvues d'une feuille métallique ne sont pas considérées comme des couches d'étanchéité à l'eau effectives.

Comme signalé précédemment (cf. § 8.2.1.2, p. 86), une protection anti-UV s'impose en présence de bitume élastomère, mais pas nécessairement dans le cas du bitume plastomère. Pour ce dernier, toutefois, une protection est conseillée lorsqu'on souhaite récupérer l'eau de pluie s'écoulant du toit ou que des éléments métalliques sont placés en aval de la toiture (gouttières en zinc, avaloirs en plomb, ...).

#### 9.1.2 MEMBRANES SYNTHÉTIQUES

Les étanchéités synthétiques reçoivent rarement une couche de protection légère, car la majorité d'entre elles offrent une résistance suffisante aux rayons UV; certaines sont en outre de teinte claire (limitation de la température superficielle). Les peintures réfléchissantes sont la seule protection légère que l'on applique dans de rares cas sur certaines étanchéités synthétiques sombres. Afin d'éviter tout problème d'incompatibilité, on utilisera exclusivement des peintures agréées par le fabricant de l'étanchéité (voir la documentation et/ou l'attestation d'aptitude à l'emploi).

Il existe également des couches de protection synthétiques (proposées par les fabricants d'étanchéités, généralement sous forme de rouleaux) à poser ou à souder sur une étanchéité synthétique au droit des chemins de circulation ou sous des installations techniques présentes en toiture.

### 9.1.3 ÉTANCHÉITÉS LIQUIDES

Lorsqu'elle est nécessaire, la protection est généralement incorporée dans la couche supérieure et est constituée de granulats fins saupoudrés recouverts d'un *coating*. Elle fait généralement partie du système proposé par le fabricant.

## 9.2 COUCHES DE PROTECTION LOURDES

Constituée par du gravier, des dalles, un matériau plus ou moins monolithique (béton, asphalte coulé) ou par de la végétation et son substrat (toitures vertes), la couche de protection lourde présente des avantages et des inconvénients :

- **avantages :**
  - réduction des contraintes thermiques sur la toiture (cf. § 2.1.3, p. 19)
  - amélioration du comportement au feu en présence de matériaux cimentaires ou pierreux
  - protection contre les dégradations dues aux rayons UV
  - possibilité de poser l'étanchéité en indépendance (lestage), et donc :
    - meilleure démontabilité en vue du recyclage en fin de vie
    - réduction des contraintes thermiques engendrées dans la membrane par les mouvements thermiques du support

- **inconvénients :**
  - nécessité d'une structure porteuse plus lourde
  - entretien accru
  - difficulté de localiser les fuites éventuelles et de les réparer. Il peut donc être utile de contrôler l'étanchéité à l'eau comme décrit au § 8.6 (p. 113) avant de procéder aux finitions
  - création d'un milieu favorable au développement des microorganismes.

En ce qui concerne le champ d'application de la couche de protection lourde, celle-ci peut être posée sur n'importe quel support (éventuellement avec interposition d'une couche de séparation), pour autant que la stabilité du support de la toiture le permette. La pose en indépendance avec protection lourde est particulièrement recommandée :

- sur un support humide qui ne permet pas d'obtenir une adhérence suffisante, ainsi que pour éviter l'apparition de boursouflures entre le support et la membrane, par exemple en présence d'humidité de construction abondante ou en cas d'exécution dans des conditions hivernales
- sur un support incompatible (avec interposition éventuelle d'une couche de séparation) à base de goudron (parfois encore rencontré en rénovation) <sup>(22)</sup>, de certains enduits ou de certaines matières synthétiques.

Lorsque la protection lourde fait office de lestage (pose en indépendance), elle doit être posée immédiatement après l'étanchéité (toiture chaude) ou l'isolation (toiture inversée).

Fig. 91 Toiture recouverte de gravier roulé.



### 9.2.1 GRAVIER

Le gravier utilisé sur une toiture plate est généralement roulé (gravier de rivière – figure 91). Sa granulométrie est d'au moins 16 mm. La granulométrie la plus courante s'élève à 16/32 mm, mais elle n'est pas toujours suffisante pour reprendre l'action du vent, comme le montrent les tableaux 33 et 34 (pp. 120 et 121), extraits du feuillet d'information n° 2 de l'UBATc [U2] (parfois 30/60 mm en zones de rive et d'angle).

Le gravier de rivière peut contenir une certaine proportion de granulats à angles tranchants (granulats brisés durant le transport, le soufflage sur la toiture, ...). Si cette fraction tranchante est importante (elle tend à l'être davantage de nos jours), il convient de poser sur

(22) Lorsqu'on travaille sur d'anciennes toitures goudronnées, il convient de prêter attention aux aspects liés à la protection de la santé.

l'étanchéité une couche de séparation – voile de polyester ou treillis en polypropylène (minimum 250 g/m<sup>2</sup>, recouvrement d'au moins 20 cm entre lés) – pour ne pas l'endommager. Cette protection n'est pas indispensable si l'étanchéité offre une bonne résistance à la perforation : couche synthétique d'une épaisseur supérieure à 1,5 mm (sous-façage non compris) ou bitume polymère avec armature de polyester (> 180 g/m<sup>2</sup>). Dans ce cas, le trafic piétonnier sur la couche de gravier doit toutefois être limité. À défaut, des dispositions seront prises pour les zones de circulation.

L'utilisation de gravier concassé (gravier de carrière) est également possible moyennant certaines précautions, dont l'interposition d'une couche de séparation (voile de polyester ou treillis en polypropylène d'au moins 300 g/m<sup>2</sup>, recouvrement d'au moins 20 cm entre lés). Ce type de gravier n'est cependant pas conseillé en raison du risque d'endommagement de l'étanchéité.

La présence de gravier et de la couche de séparation sous-jacente ralentit l'évacuation des eaux pluviales. Ils ont pour inconvénient de constituer un foyer potentiel de microorganismes; en cas d'étanchéité en PVC, le choix du type de PVC doit être adapté (résistance aux microorganismes) et la couche de séparation éventuelle doit présenter une texture fermée (feuille PE, par exemple) : un voile de polyester est de nature à retenir les microorganismes en provenance de la couche de lestage, ce qui aurait pour effet d'accroître le risque de migration des plastifiants contenus dans le matériau d'étanchéité plutôt que de le réduire. La présence de gravier implique certaines adaptations au niveau des détails et des raccordements :

- hauteur plus importante du relevé d'étanchéité :  $\geq 150$  mm à partir du niveau supérieur du gravier plutôt qu'à partir du niveau de l'étanchéité (voir, par exemple, la figure 37 de la [NIT 244](#)) [C10]
- nécessité d'un arrêt de gravier autour des avaloirs, ...

Un autre inconvénient possible réside dans le fait que les granulats peuvent être transportés par les oiseaux, qui risquent ensuite de les lâcher sur des coupoles, sur des passants, etc.

La pente de la toiture est limitée à 5 % pour éviter que le gravier roule. Un entretien régulier est nécessaire afin d'empêcher que la végétation envahisse le toit et endommage l'étanchéité. Le gravier doit être propre (proportion limitée de particules fines), de façon à ne pas obstruer les dispositifs d'évacuation d'eau.

Le gravier de rivière et le gravier calcaire (de carrière) impliquent un risque de dépôt de calcaire dans le sys-

tème d'évacuation d'eau et un risque de coloration de l'eau. Si l'on souhaite récupérer et utiliser l'eau de pluie collectée sur la toiture, il convient de choisir un gravier adapté (quartz blanc, par exemple). On conseille néanmoins d'attendre un an environ avant de mettre le système de récupération et de filtration de l'eau en service.

### 9.2.2 DALLES

Les dalles doivent, de préférence, être posées sur des plots, eux-mêmes disposés sur une étanchéité, et ce, en veillant à ce que la pente ne dépasse pas 10 % (figure 92).

La surface de contact des plots doit être suffisante pour éviter une pression excessive sur les matériaux d'étanchéité et d'isolation. Des informations concernant la contrainte de compression permanente autorisée sur les plots et sur l'isolation peuvent être obtenues auprès des fabricants ou en consultant les attestations d'aptitude à l'emploi. Le comportement aux sollicitations mécaniques de l'isolation et les classes proposées par l'UEAtc et l'UBAtc sont explicités au § 7.1.6 de la présente Note d'information technique (p. 70). On y évoque aussi l'approche de la [Note d'information technique n° 253](#) [C12] qui propose des critères indicatifs quant aux caractéristiques mécaniques des isolants, en les appliquant à deux exemples de calcul, dont celui d'une toiture-terrasse revêtue de dalles sur plots.

Un entretien régulier est nécessaire afin d'éliminer les salissures et les boues susceptibles de s'accumuler entre les dalles et l'étanchéité (nettoyage sous les dalles au jet d'eau ou à l'aide d'un nettoyeur à haute pression, par exemple).



Fig. 92 Dalles sur plots.

Sur une étanchéité en pente, des plots réglables permettent d'obtenir une surface de circulation d'une pente plus légère que celle de l'étanchéité. Une autre possibilité consiste à poser les dalles sur des sacs de sable stabilisé, dont la hauteur peut être ajustée au moment de la pose. La tenue dans le temps de cette exécution est cependant moins favorable. Les sacs doivent en outre être remplacés en cas de réparation.

Les dalles peuvent aussi être posées directement sur une couche de séparation qui permet l'évacuation correcte de l'eau (matelas drainant, par exemple).

Une pose des dalles traditionnelle (au mortier, sur sable stabilisé ou dans la chape fraîche) ou collée (au mortier-colle sur chape armée) est également envisageable. Ces deux modes de pose doivent être réalisés conformément aux prescriptions des [Notes d'information technique n° 196](#) [C4], [n° 244](#) [C10] et [n° 276](#) [C18]. L'étanchéité ne sera dans ce cas plus accessible sans démontage du revêtement et de ses couches de pose. Le complexe support de la terrasse doit être placé sur un complexe de désolidarisation (dans tous les cas) et/ou de drainage (si la chape n'est pas résistante au gel). Ce complexe sera constitué, par exemple, d'un non-tissé de polyester surmonté d'un film de polyéthylène



Fig. 93 Obstruction d'un avaloir par la chaux contenue dans le mortier de pose des dalles.

ou d'un panneau drainant, d'un matelas drainant surmonté d'un non-tissé de polyester, ... Comme le montre la figure 93, il faut en outre tenir compte du fait que la présence de matériaux à base de ciment sur l'étanchéité peut obstruer les dispositifs d'évacuation par lixiviation de chaux (cf. § 4.7.3.4 de la [Note d'information technique n° 253](#)) [C12]. La compatibilité de l'étanchéité avec les matériaux cimentaires (alcalis) doit par ailleurs être vérifiée.

Les dalles peuvent aussi être posées sur un lit de granulats ou de sable, dont l'épaisseur après compactage s'élève à 30 mm environ. Les joints entre éléments ont une largeur comprise entre 2 et 5 mm (supérieure au double de la tolérance dimensionnelle des dalles) et sont comblés à l'aide d'un matériau de remplissage adéquat. Le lit de pose n'est jamais mis en œuvre sur l'étanchéité même, mais sur une couche de protection et/ou une couche filtrante (polyester non tissé, panneaux de drainage surfacés d'un polyester non tissé, ...). Les granulats doivent être non gélifs, exempts de poussière et résistants aux dégradations. Des dispositions devront être prises au droit des évacuations d'eau afin d'empêcher l'entraînement par l'eau de matières provenant du lit de pose. Un contrebutage est nécessaire pour éviter que les dalles s'écartent les unes des autres. Pour plus d'informations sur ce type de pose, on consultera les [Notes d'information technique n° 253](#) [C12] et [n° 276](#) [C18].

Certains systèmes permettent une pose des dalles par collage direct sur l'étanchéité (sur une toiture non isolée ou une étanchéité mise en œuvre à l'état liquide).

Les dalles en béton sont étudiées dans la [Note d'information technique n° 276](#) [C18].

### 9.2.3 AUTRES TYPES DE PROTECTION

Parmi les autres types de protection utilisables, on peut citer :

- le béton monolithique et l'asphalte coulé, généralement utilisés sur les toitures-parkings ou les accès de secours réservés, par exemple, aux véhicules des services d'incendie (voir le § 4.6 de la [Note d'information technique n° 253](#)) [C12]
- les toitures vertes, traitées dans la [Note d'information technique n° 229](#) [C6]
- les caillebotis en bois ou en métal, les dalles en imitation bois posées sur plots, les dalles en caoutchouc (revêtements de terrains de jeu ou sport), ... Les terrasses en bois feront l'objet d'une prochaine Note d'information technique.

### 9.3 RÉSISTANCE AU VENT DES TOITURES MUNIES D'UNE PROTECTION LOURDE

#### 9.3.1 MASSE SURFACIQUE MINIMUM COMPTE TENU DE L'ACTION DU VENT

Lorsque la couche de protection lourde est destinée à reprendre les effets du vent sur un complexe de toiture posé en indépendance, son poids doit être supérieur à la dépression de vent majorée des coefficients à considérer (voir § 2.1.2, p. 10).

Lorsqu'on applique une couche de protection pour compenser le manque de résistance au vent d'une étanchéité collée ou soudée (ce n'est pas possible pour une étanchéité fixée mécaniquement, comme expliqué au § 2.1.2.3, p. 14), le poids du lestage doit au moins être égal à la différence entre la dépression totale du vent et la résistance au vent de la toiture (valeur de calcul), pour autant que le lestage soit réparti uniformément et soit lui-même résistant au vent (cf. § 9.3.2).

Dans le cas des toitures inversées, le soulèvement des panneaux d'isolation doit en outre être pris en considération, dans la mesure où ils sont eux-mêmes étanches à l'air et posés sur l'étanchéité. On conseille de recouvrir immédiatement les panneaux de la protection lourde afin de les préserver des risques de soulèvement, mais également des risques de flottement et de fragilisation (rayons UV).

#### 9.3.2 RÉSISTANCE AU VENT DE LA COUCHE DE PROTECTION

Que la protection lourde soit destinée à reprendre l'action du vent (complexe de toiture posé en indépendance avec lestage) ou non (complexe posé en adhérence), il convient de veiller à ce que cette couche soit elle-même résistante au vent, c'est-à-dire qu'elle ne puisse pas se soulever ou se déplacer sous l'action du vent.

Pour résister au vent, les éléments indépendants, tels que les dalles ou les panneaux, doivent au moins avoir le poids indiqué au tableau 33 (p. 120). Ce poids ne suffit pas nécessairement pour reprendre l'action du vent sur la toiture dans le cas d'une étanchéité posée en indépendance, mais il permettra d'éviter que les dalles se soulèvent et se déplacent sous l'effet du vent.

Le diamètre minimum du gravier nécessaire pour éviter son soulèvement et son déplacement est indiqué au tableau 34 (p. 121). Par diamètre minimum, on entend, par exemple, un diamètre d'au moins 16 mm pour un gravier 16/32. Lorsque le diamètre minimum requis est trop important, il est préférable d'opter pour un lestage sous forme de dalles, bien qu'il soit possible d'utiliser des galets, par exemple.

La masse volumique en vrac des granulats est de l'ordre de 1,4 T/m<sup>3</sup> pour le gravier roulé ou semi-roulé, de 1,25 à 1,65 T/m<sup>3</sup> pour le concassé calcaire (selon le calibre) et de 1,35 à 1,45 T/m<sup>3</sup> pour le porphyre (selon le calibre).

Tableau 33 Poids minimum requis pour des dalles de lestage résistant au vent.

Zone	Hauteur de la toiture (m)															
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>o Mer</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>I Lac ou zone à végétation négligeable</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>II Zone à végétation basse</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>III Zone à couverture végétale régulière</b>	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0
<b>IV Bâtiments &gt; 15 m</b>	16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-
<b>Zone d'angle</b>	47	50	53	55	58	62	65	69	71	74	80	84	88	92	95	100
<b>Zone de rive</b>	37	40	42	44	46	49	52	55	57	59	64	67	70	73	76	80
<b>Zone courante 1</b>	22	24	25	27	28	30	31	33	34	35	38	40	42	44	45	48
<b>Zone courante 2</b>	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8
<b>Zone d'angle</b>	51	55	58	60	63	67	71	75	78	80	87	92	96	100	103	109
<b>Zone de rive</b>	41	44	46	48	50	54	57	60	62	64	69	73	77	80	83	87
<b>Zone courante 1</b>	24	26	28	29	30	32	34	36	37	39	42	44	46	48	50	52
<b>Zone courante 2</b>	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	8	8	8	9
<b>Zone d'angle</b>	55	59	63	65	68	73	77	81	84	87	94	99	104	108	112	118
<b>Zone de rive</b>	44	47	50	52	55	58	62	65	67	70	75	79	83	87	90	95
<b>Zone courante 1</b>	27	28	30	31	33	35	37	39	40	42	45	48	50	52	54	57
<b>Zone courante 2</b>	4	5	5	5	5	6	6	6	7	7	8	8	8	9	9	9
<b>Zone d'angle</b>	60	64	68	71	74	79	83	88	91	94	102	107	112	117	121	128
<b>Zone de rive</b>	48	51	54	57	59	63	67	70	73	75	81	86	90	94	97	102
<b>Zone courante 1</b>	29	31	32	34	35	38	40	42	44	45	49	52	54	56	58	61
<b>Zone courante 2</b>	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	9	9	9	10	10
<b>Zone d'angle</b>	128	137	142	146	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Zone de rive</b>	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111	111
<b>Zone courante 1</b>	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67
<b>Zone courante 2</b>	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11





# 10

## RÉNOVATION DES TOITURES PLATES

### 10.1 GÉNÉRALITÉS

La rénovation d'une toiture plate consiste en une réhabilitation du complexe, qui peut aller de la simple remise en état de la couche d'étanchéité au remplacement complet du complexe depuis le support. Différentes raisons peuvent conduire à rénover partiellement ou totalement une toiture :

- amélioration générale ou mise en conformité faisant suite à la décision
  - d'apporter une isolation complémentaire
  - de modifier la destination de la toiture (terrasse, jardin, ...)
  - de modifier la destination du bâtiment (classe de climat intérieur)
  - de placer une installation solaire
  - ...
- remise à neuf ou en l'état d'origine en raison
  - de la fin de la durée de vie attendue de l'étanchéité
  - d'infiltrations
  - d'une dégradation et/ou d'une déformation de la structure portante
  - d'une dégradation de l'étanchéité (bitume oxydé, par exemple)
  - d'une composition de toiture inacceptable (toiture froide, isolation sous la forme de pente, ...)
  - ...

En rénovation, il n'est pas toujours possible de répondre entièrement aux prescriptions de la présente Note d'information technique, mais on tentera de s'en approcher au maximum en fonction des possibilités, tout en procédant à une évaluation des risques et des surcoûts.

Dans le contexte énergétique actuel, il est pratiquement inconcevable de rénover une toiture sans la doter d'une isolation complémentaire. Les exigences énergétiques ne cessent de s'intensifier et il est très peu probable qu'une toiture réalisée il y a plusieurs années réponde aux prescriptions d'aujourd'hui.

Les travaux de rénovation se déroulant le plus souvent sans l'intervention d'un architecte ou d'un entrepreneur général, l'entrepreneur d'étanchéité sera tenu d'examiner le complexe de toiture, de relever les éventuels manquements et de proposer les améliorations possibles. À cet effet, il se fera assister si nécessaire ou orientera le maître de l'ouvrage vers un bureau d'études ou un autre spécialiste. Il est à noter que la recherche de solutions de rénovation s'effectue au cas par cas et que plusieurs solutions peuvent convenir pour une même situation. L'expérience et la compétence de l'entrepreneur jouent un rôle important à cet égard. Nous ne pouvons décrire ici toutes les solutions envisageables. Le présent document se limite donc à fournir quelques indications et un certain nombre d'exemples concrets. Pour les détails et les jonctions, on se référera à la [NIT 244 \[C10\]](#).

Lorsque des problèmes se posent et qu'un avis est sollicité en la matière, il faut d'abord déterminer la cause des phénomènes. Il peut être nécessaire, à cet effet, de prélever un échantillon. Il n'est toutefois pas possible de garantir que les échantillons prélevés seront représentatifs de l'ensemble de la toiture. Ce n'est qu'après avoir remédié aux problèmes que la rénovation pourra être entamée.

En cas de rénovation d'une toiture, si un classement  $B_{\text{ROOF}}(t_1)$  du système rénové est nécessaire, deux situations peuvent se présenter :

- soit le système de toiture existant était déjà classé  $B_{\text{ROOF}}(t_1)$ ; dans ce cas, on peut se contenter d'ajouter un système d'étanchéité qui a démontré sa classification  $B_{\text{ROOF}}(t_1)$  sur une toiture à rénover (voir l'attestation d'aptitude à l'emploi ou le rapport de classification au feu)
- soit le système de toiture existant n'est pas classé  $B_{\text{ROOF}}(t_1)$  ou ce classement ne peut être démontré; il faut alors appliquer un complexe de toiture qui, combiné au système existant (ou aux parties que l'on a conservées), répondra à la classe  $B_{\text{ROOF}}(t_1)$  (voir l'attestation d'aptitude à l'emploi ou le rapport de classification au feu).

## 10.2 EXAMEN DE LA TOITURE EXISTANTE AVANT RÉNOVATION

La rénovation d'une toiture plate implique d'examiner au préalable un grand nombre d'éléments; en voici une liste non exhaustive :

- destination du bâtiment :
  - changement de classe de climat intérieur
  - exigences acoustiques
- composition de toiture :
  - concept de toiture : toiture froide (inacceptable, à transformer en toiture chaude), isolation placée sous le support de toiture ou sous la forme de pente (inacceptable), composition de toiture tenant compte des directives de la présente Note d'information technique, etc.
  - classe de comportement vis-à-vis d'un incendie extérieur et autres exigences en matière d'incendie (cf. chapitre 2, p. 9)
  - résistance à l'action du vent (chapitre 2)
  - niveau fini à atteindre (contraintes au droit des relevés, des portes-fenêtres, ...)
- support de toiture; il convient :
  - de déterminer sa nature (bois, béton, béton cellulaire, poutres et claveaux, ...)
  - de vérifier s'il est apte à résister à un poids supplémentaire et notamment aux charges liées à l'exécution
  - de vérifier son état (support fléchi, bois humide ou pourri, armatures du béton corrodées, ...)
- pente; on veillera à :
  - vérifier si elle est suffisante ou doit (et peut) être corrigée globalement ou localement (stagnation d'eau)
  - examiner comment elle est réalisée (structure en pente ou forme de pente)
  - vérifier son état (cohésion, humidité, texture, planéité, ...) afin de déterminer si elle peut être conservée ou non
- pare-vapeur et isolation; il faut :
  - détecter la présence éventuelle d'eau dans le complexe de toiture et en déterminer la cause (infiltrations, condensation interne)
  - contrôler la présence éventuelle d'un pare-vapeur, son type, son état et son mode de fixation (continuité, pose correcte, ...)
  - vérifier la présence éventuelle d'une isolation, son type, sa position dans le complexe, son mode de fixation et son état (humidité, compressibilité, ...)
  - déterminer la valeur d'isolation selon les décrets régionaux en vigueur
  - examiner les sollicitations s'exerçant sur la toiture et vérifier la résistance de l'isolation
  - prévoir une isolation complémentaire; celle-ci est recommandée dans tous les cas, au regard

du contexte actuel en matière d'énergie et de construction durable

- étanchéité; il y a lieu :
  - de contrôler la présence éventuelle d'eau dans le complexe de toiture et d'en déterminer la cause (infiltrations, condensation interne)
  - de s'assurer de la qualité de l'ancienne couche d'étanchéité, de son état de fixation et de ses possibilités de conservation
  - de vérifier la hauteur des relevés d'étanchéité et de déterminer s'il est possible de l'augmenter
  - d'examiner le type d'étanchéité existante
- couche de protection : peut-elle être conservée ou doit-on la remplacer?
- détails de toiture; il convient :
  - de vérifier la conformité des détails de jonction des écoulements d'eau et des autres ouvrages de raccord aux prescriptions de la [Note d'information technique n° 244](#) [C10], ainsi que le fonctionnement du système d'évacuation d'eau
  - d'examiner la nécessité de remplacer les accessoires (joints de dilatation, ...); il est fortement recommandé de remplacer les avaloirs, car ils constituent un des points les plus délicats de la toiture et rien ne permet d'affirmer que leur durée de vie résiduelle soit aussi longue que celle de la nouvelle étanchéité.

Ces opérations nécessiteront localement l'ouverture du complexe de toiture. Les échantillons prélevés à divers endroits ne sont toutefois pas toujours représentatifs de l'ensemble de la toiture.

## 10.3 EXEMPLES DE SOLUTIONS DE RÉNOVATION

### 10.3.1 ISOLATION COMPLÉMENTAIRE D'UNE TOITURE CHAUDE

Lorsqu'on rénove une toiture plate, il est vivement conseillé de la doter d'une isolation complémentaire. Si l'on est en présence d'une toiture chaude et que le complexe existant peut être conservé, l'étanchéité existante peut recevoir, ce faisant, une fonction de pare-vapeur (s'il n'y en a pas ou s'il est défectueux). Cette solution peut s'avérer moins coûteuse que le démontage, et empêche les infiltrations d'eau pendant les travaux. Il peut être nécessaire d'effectuer des réparations locales ou d'ajouter une couche d'étanchéité supplémentaire, en particulier lorsque l'étanchéité existante présente des boursouflures et/ou un retrait important. L'isolation et l'étanchéité qui la surmontent seront dès lors disposées conformément à la présente Note d'information technique.

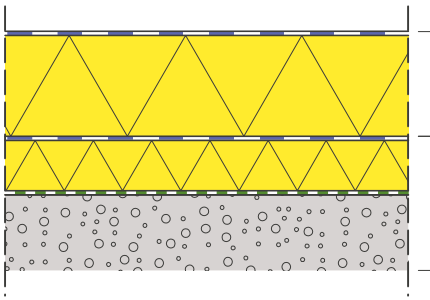


Fig. 94 Toiture chaude + toiture chaude.

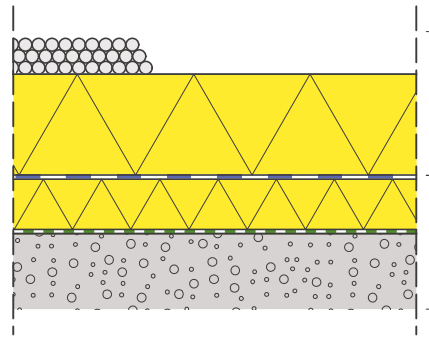


Fig. 95 Toiture chaude + toiture inversée : toiture 'duo'.

Deux cas de figure peuvent se présenter :

- soit on ajoute une toiture chaude à la toiture chaude existante (figure 94)
- soit on place une toiture inversée sur la toiture chaude existante pour former une toiture 'duo' (figure 95); on s'assurera que le support de toiture peut supporter la surcharge liée au lestage et que la pente est suffisante (au moins 2 %).

Il conviendra de vérifier que les relevés sont suffisants ou qu'il est possible d'en augmenter la hauteur. Dans la négative, il existe d'autres solutions comme, par exemple, la réduction de l'épaisseur d'isolation le long d'un mur [M5].

Du point de vue hygrothermique (risque de condensation interne), si la toiture chaude existante n'est pas sujette à des problèmes d'humidité (condensation), l'ajout d'une isolation par l'extérieur ne fera qu'améliorer la situation.

### 10.3.2 ISOLATION COMPLÉMENTAIRE D'UNE TOITURE INVERSÉE

Une manière d'améliorer une toiture inversée consiste à remplacer la couche d'isolation par une couche plus épaisse. Il y a lieu de vérifier que la conception de la toiture convient à une configuration de toiture inversée (pente à contrôler après enlèvement de l'isolation existante, résistance thermique du support de toiture).

L'ajout d'une couche de matériau d'isolation sur une isolation existante n'est pas autorisé, car l'eau piégée entre les couches pourrait conduire à terme à une humidification excessive des panneaux isolants.

Il se peut que le niveau d'isolation visé ne puisse être atteint avec une seule couche d'isolation XPS (compte tenu des épaisseurs disponibles sur le marché). La rénovation consistera alors à enlever les panneaux

XPS et à appliquer un nouveau complexe d'isolation/d'étanchéité sur l'étanchéité existante, qui jouera ainsi le rôle de pare-vapeur. L'étanchéité sera dès lors assurée selon la configuration de la toiture chaude ou de la toiture 'duo' (toiture chaude surmontée d'une isolation XPS). Dans ce dernier cas, on peut envisager de reposer les panneaux XPS si leur état le permet.

### 10.3.3 RÉNOVATION D'UNE TOITURE FROIDE

La toiture froide est techniquement inacceptable et doit être convertie en une composition de toiture acceptable. Elle sera généralement transformée en toiture chaude, en supprimant la ventilation par l'air extérieur (obturation des orifices d'aération) et en ajoutant une isolation au-dessus du support selon le principe de la toiture chaude.

Selon son état, le support de toiture sera conservé ou remplacé. Le contrôle de l'état du support est particulièrement important sur une toiture froide, car les problèmes de condensation qu'on y rencontre engendrent souvent une humidification et des dégâts (cf. § 3.2.2, p. 33).

On enlèvera de préférence l'isolation existante de manière à réaliser une toiture chaude classique. Selon son état, elle pourra éventuellement être conservée et idéalement complétée, afin de supprimer la lame d'air. On se retrouvera alors dans le cas décrit au § 3.3.1 (p. 35), où la résistance thermique de l'isolation au-dessus du support est 1,5 fois supérieure à celle de l'isolation sous le support (dans la négative, il y a lieu de vérifier le risque de condensation par calcul ou par simulation informatique). L'étanchéité existante jouera ce faisant le rôle de pare-vapeur. Il conviendra d'assurer la continuité de l'isolation aux jonctions avec les façades, en obturant les ouvertures de ventilation (figure 96, p. 126). Pour assurer la continuité de l'isolation, il sera toujours nécessaire d'ouvrir la rive de toiture (figure 97, p. 126).

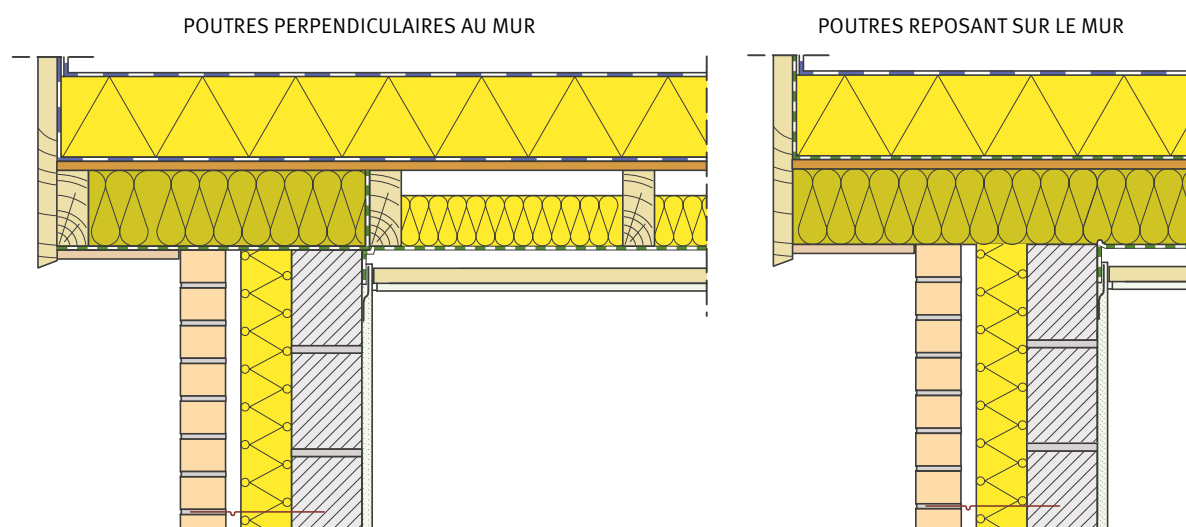


Fig. 96 Rénovation d'une toiture froide à dépassant.



Fig. 97 Ouverture de la rive en saillie en vue de son isolation.

On comblera, par exemple, les espaces entre les poutres avec un isolant en remplissant les interstices de mousse isolante. Gardons à l'esprit que, lors d'une rénovation, il est indispensable de veiller en premier lieu à la continuité de l'isolation et à l'étanchéité à la pluie et au vent. L'étanchéité à l'air de l'enveloppe doit idéalement être assurée également, mais elle est souvent plus difficile à obtenir lorsqu'on rénove uniquement la toiture.

Dans le cas d'une toiture froide de type lourd, on devra généralement démonter le complexe jusqu'au support et y appliquer un nouveau complexe de toiture chaude ou inversée. Il sera le plus souvent nécessaire de créer une pente, le support étant d'ordinaire horizontal (voir figure 29, p. 34).

### 10.3.4 AMÉLIORATION DE LA PENTE D'UNE TOITURE PLATE

En rénovation, l'entrepreneur peut être confronté à des toitures présentant une pente insuffisante. Plusieurs possibilités s'offrent à lui pour améliorer une pente localement ou globalement.

Si le complexe de toiture (chaude) est conservé :

- soit on applique une couche supplémentaire d'isolation à pente intégrée
- soit on réalise :
  - des corrections locales de pente au moyen d'une masse spécifique (mélange de primaire résineux et de sable, masse bitumineuse – figure 98 –, vermiculite ou autre); l'adhérence et



Fig. 98 Masse bitumineuse de remise à niveau.

- la cohésion doivent être suffisantes afin d'assurer la résistance au vent du complexe
- des pointes de diamant au moyen d'éléments préfabriqués (en matériau isolant), en orientant leur pente vers l'avaloir, principalement pour éviter une stagnation d'eau dans la noue (cf. figure 8 de la NIT 244) [C10]. Certains fabricants d'isolants proposent des kits prêts à l'emploi munis d'un plan de pose (figure 99).

Si le complexe de toiture est enlevé jusqu'au support et si une étanchéité provisoire n'est pas nécessaire (cas de rénovation rare, puisque cela signifie que le bâtiment n'est pas occupé), on se trouve dans le cas d'une construction neuve et on se conformera aux recommandations de la présente Note d'information technique.

Si le complexe de toiture est enlevé jusqu'au support et qu'une étanchéité provisoire est nécessaire, on suivra la procédure décrite ci-dessous :

1. si le support est suffisamment plan :
  - on pose une étanchéité provisoire
  - et on applique, au choix :
    - une isolation à pente intégrée; dans ce cas, l'étanchéité provisoire joue le rôle de pare-vapeur; cette solution offre le grand avantage de ne pas introduire d'humidité de construction, mais elle est moins flexible quant à la correction des défauts de planéité
    - une forme de pente liée au ciment en respectant l'épaisseur minimale (poids minimal) recommandée et en prévoyant un temps de séchage le plus long possible afin de limiter l'inclusion d'humidité de construction; dans ce second cas, un pare-vapeur devra être appliqué sur la forme de pente pour limiter la migration de l'humidité dans la couche d'iso-

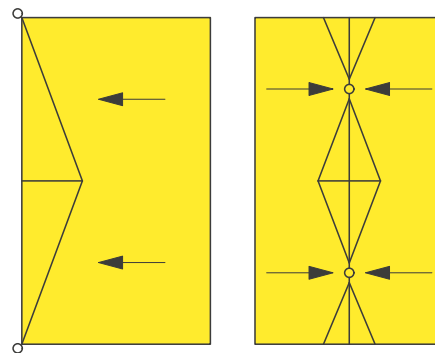
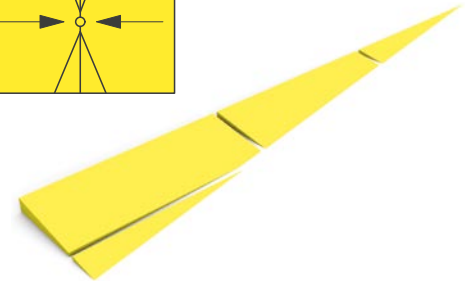


Fig. 99 "Pointes de diamant" en matériau isolant.



lation. Notons que si la forme de pente est insuffisamment sèche, le pare-vapeur peut ne pas y adhérer correctement, auquel cas un lestage est nécessaire (cf. [Les Dossiers du CSTC 2014/2.5](#)) [M11]

- il faut que l'étanchéité provisoire soit effective pour éviter la condensation inversée en été, dans le cas improbable où l'épaisseur d'isolation supérieure serait trop faible pour éviter une telle condensation [M11]
2. si le support est irrégulier et qu'il est impossible d'y poser correctement une étanchéité : avant d'appliquer la procédure décrite ci-avant, le support devra être égalisé au moyen d'un mélange de primaire résineux et de sable, par exemple. La siccité du support devra être suffisante
  3. si le support présente une flèche importante, on consultera un ingénieur en stabilité qui déterminera s'il peut être conservé, s'il doit être renforcé et quelle charge supplémentaire peut y être appliquée. On suivra alors, selon le cas, la procédure décrite au point 1 et/ou 2.

### 10.3.5 RÉNOVATION D'UNE TOITURE MUNIE D'UNE ISOLATION SOUS LE SUPPORT DE TOITURE OU SOUS LA FORME DE PENTE

Une toiture comportant une isolation thermique sous ou dans le support peut être rénovée en ajoutant une isolation complémentaire par le dessus, et ce après avoir vérifié que l'isolation existante pouvait être conservée. On se retrouve alors dans le cas d'une toiture avec isolation thermique sur et sous le support, l'étanchéité existante jouant le rôle de pare-vapeur. La résistance thermique de la nouvelle couche d'isolation placée au-dessus du support doit donc être au

moins 1,5 fois supérieure à celle de la couche située en dessous de celui-ci. À défaut, une étude doit être effectuée pour éviter tout risque de condensation excessive (voir § 3.3.1, p. 35).

### 10.3.6 SIMPLE RESTAURATION DE L'ÉTANCHÉITÉ

On vise ici la remise en état d'une étanchéité existante qui ne présente pas de problèmes majeurs, mais est supposée être proche de la fin de sa durée de vie 'normale', ou sur laquelle on envisage le placement d'une installation (panneaux solaires, par exemple). Cette simple remise en état implique que la toiture soit suffisamment isolée thermiquement.

La **durée de vie normale** ne peut être déterminée *a priori*, car elle dépend de la nature de l'étanchéité (matériau, épaisseur, ...), de son mode de pose, des contraintes thermiques et mécaniques subies par la toiture et de son entretien. Dans le cas d'une étanchéité existante à base de bitume oxydé, cette durée de vie est le plus souvent limitée. Elle peut généralement être évaluée sur la base de l'expérience de l'entrepreneur d'étanchéité ou du bureau d'études, de la connaissance de l'historique de l'ouvrage (année de pose) et d'une inspection visuelle (présence/absence des paillettes d'ardoise, ...). Dans le cas contraire, des essais menés en laboratoire sur des échantillons prélevés peuvent donner une idée du vieillissement : épaisseur, examen de l'aspect en surface (microfissures, par exemple), souplesse du bitume ou du PVC à basse température, traction-allongement, ...

Dans ce contexte, on peut aboutir, après concertation avec l'entrepreneur d'étanchéité, à la conclusion qu'il suffit de poser une nouvelle couche finale sur l'étanchéité existante et ce, en procédant comme décrit ci-dessous ainsi que dans les paragraphes suivants relatifs aux différents types d'étanchéité :

- enlever et stocker le lestage éventuel en veillant à éviter les surcharges sur la toiture
- au besoin, adapter tous les détails de toiture (joints de dilatation, solins, raccordement aux coupes, tuyaux, gaines, relevés, etc.) conformément aux prescriptions de la **Note d'information technique n° 244** [C10]
- nettoyer l'étanchéité existante
- aplanir les inégalités, percer les boursouffures éventuelles, les sécher et les refermer par collage ou par soudage; la présence d'un cloquage généralisé révèle l'existence de problèmes
- parachever la toiture par la pose de nouveaux solins et éventuellement de profilés de rive
- appliquer une nouvelle couche d'étanchéité en adhérence, comme décrit dans les paragraphes suivants.

La pose d'une étanchéité supplémentaire en indépendance ou fixée mécaniquement est toujours possible, quels que soient l'étanchéité existante et son état; elle peut éventuellement s'accompagner de l'interposition d'une couche de désolidarisation (voile de polyester). Le support doit pouvoir résister au poids du lestage ou à l'application d'une fixation mécanique.

On peut également envisager de mettre en œuvre une nouvelle étanchéité liquide sur une étanchéité existante. On veillera dès lors aux points suivants :

- vérifier l'adhérence de l'étanchéité existante (visuellement ou par un essai, en cas de doute) et sa stabilité vis-à-vis des mouvements thermiques (surtout pour les membranes synthétiques non armées)
- s'assurer que l'étanchéité existante ne renferme pas d'humidité; l'application de l'étanchéité liquide ne pouvant s'opérer que par adhérence totale et non en indépendance ou en semi-indépendance, un cloquage serait à craindre
- selon le type de l'étanchéité existante, examiner quel type d'étanchéité liquide serait compatible et raccordable. Pour ce faire, on se référera au chapitre 9 de la **Note d'information technique n° 244** (tableaux 11 et 12) [C10] ainsi qu'aux prescriptions du fabricant
- consulter les prescriptions du fabricant en ce qui concerne le mode de pose (préparation du support, primaire, intégration d'une armature, températures et humidité acceptables, ...).

Si l'étanchéité existante renferme de l'humidité, la pose ne peut s'opérer qu'en indépendance, en semi-indépendance ou par fixation mécanique.

#### 10.3.6.1 Rénovation d'une étanchéité bitumineuse

Sur un revêtement bitumineux existant, la solution la plus logique consiste à poser une nouvelle étanchéité bitumineuse, en procédant comme suit (outre la procédure générale décrite ci-dessus) :

- sécher la surface
- éliminer par broyage les particules non adhérentes (poussières, protection minérale, ...) pour obtenir une surface propre et plane
- appliquer un vernis d'adhérence bitumineux pour obtenir une bonne adhérence avec la couche bitumineuse existante
- poser un lé en bitume polymère armé de polyester au moyen de l'une des techniques adaptées au type de membrane bitumineuse considéré. Une adhérence totale est à privilégier pour conserver les avantages d'un système multicouche (pas de circulation d'eau entre les couches), à condition que

l'étanchéité existante soit sèche. Dans le cas contraire (présence de cloques, membrane armée de feutre renfermant de l'humidité), la couche supérieure doit être posée en indépendance (pour autant que le support de toiture permette l'application d'un lestage), en semi-indépendance ou par fixation mécanique. Un collage à froid peut aussi s'envisager.

Les anciennes étanchéités bitumineuses sont également aptes à recevoir une étanchéité synthétique. Il peut s'avérer nécessaire en ce cas d'utiliser des lés sous-facés compatibles avec le bitume (membrane à sous-façage de polyester pouvant être collée à froid, membrane à sous-façage autoadhésif compatible avec le bitume, etc.).

On peut aussi appliquer une étanchéité liquide selon la procédure décrite plus haut. Les particules non adhérentes seront éliminées par brossage (poussières, protection minérale, ...).

#### **10.3.6.2 Rénovation d'une étanchéité synthétique**

Si l'étanchéité existante est posée en indépendance ou fixée mécaniquement, la couche supplémentaire sera toujours posée en indépendance ou fixée mécaniquement elle aussi (en interposant éventuellement une couche de désolidarisation). Ces techniques de rénovation ont également la préférence pour la rénovation d'une étanchéité existante posée en adhérence.

La pose en adhérence de la nouvelle étanchéité constitue une exception et peut être réalisée moyennant l'interposition d'une couche intermédiaire selon les prescriptions du fabricant (isolation de faible épaisseur, colle expansée de forte épaisseur, par exemple).

Une étanchéité en EPDM peut être recouverte d'une nouvelle étanchéité en EPDM collée, fixée mécaniquement ou lestée selon le support. Dans le cas d'une pose adhérente, il importe que toutes les parties non adhérentes ou insuffisamment adhérentes soient retirées, refixées ou recollées avant d'appliquer la nouvelle couche d'étanchéité. En raison de la diversité des matériaux synthétiques (composition, armature et surfaçage), il convient de se conformer aux instructions du fabricant et aux prescriptions du présent document.

#### **10.3.6.3 Rénovation d'une étanchéité mise en œuvre à l'état liquide**

La solution la plus logique consiste à poser une nouvelle couche d'étanchéité liquide selon la procédure décrite plus haut.

Il est également possible de poser une membrane d'étanchéité en adhérence après l'application d'un primaire ou d'un autre traitement adéquat sur l'étanchéité existante. Il conviendra de vérifier l'état de l'étanchéité en place et la compatibilité des différents produits.



# 11

## ENTRETIEN ET ACCESSIBILITÉ DES TOITURES PLATES

### 11.1 INTRODUCTION

L'entretien consiste à prendre une série de mesures, préventives ou autres, portant sur les ouvrages, afin qu'ils puissent assurer l'ensemble des fonctions prévues au cours de leur durée de vie.

Toute toiture doit faire l'objet d'un entretien régulier, effectué à l'initiative du propriétaire. Cet entretien est de préférence pris en charge par la personne qui a réalisé l'étanchéité et avec qui le propriétaire aura conclu un contrat d'entretien, et ce y compris durant la période couverte par la garantie décennale. Il comprend différentes étapes, décrites ci-après :

- le nettoyage
- l'inspection
- la remise en état.

Le nettoyage s'effectue au moins deux fois par an, après l'hiver et après la chute des feuilles, l'inspection (et la remise en état éventuelle) au moins une fois par an.

### 11.2 ÉTAPES DE L'ENTRETIEN

#### 11.2.1 NETTOYAGE

Comme précisé ci-avant, la surface de la toiture doit être nettoyée au minimum deux fois par an, après l'automne et après l'hiver, en éliminant les feuilles mortes, mousses et autres débris susceptibles d'empêcher l'écoulement de l'eau vers les exutoires ou de masquer d'éventuels désordres. Une fréquence plus élevée peut être nécessaire, par exemple lorsque la toiture est surplombée d'arbres.

Le nettoyage peut être effectué par une entreprise non spécialisée, qui consultera au préalable l'entreprise ayant réalisé la toiture quant à la marche à suivre. On consultera également le [Guide de l'entretien pour des bâtiments durables](#) [W1]. On évitera par exemple l'emploi de produits agressifs ou d'outils ou chaussures pointus ou tranchants, qui risquent d'endommager l'étanchéité.

Les éléments du système d'évacuation d'eau (avaloirs, gouttières, trop-pleins, ...) doivent être nettoyés et débarrassés de tous les débris gênant leur fonctionnement (en particulier, les paillettes d'ardoises ou granulats de finition des membranes durant la première année qui suit la mise en œuvre).

#### 11.2.2 INSPECTION

La toiture doit être inspectée visuellement au moins une fois par an, après un nettoyage, de manière professionnelle, afin de déceler d'éventuels dégâts. Cette inspection comprend notamment :

- une vérification générale de l'étanchéité (plis, affaissement, vieillissement, décollement, ...)
- le contrôle des recouvrements, détails et raccordements de l'étanchéité
- le contrôle des avaloirs, des tuyaux de descente, des gargouilles, de l'éventuelle couche de protection, des solins, des profilés, des joints, etc.

Les dégâts éventuels aux finitions intérieures (taches d'humidité, moisissures, ...) doivent immédiatement être signalés par l'utilisateur au responsable de l'entretien.

Le [Guide de l'entretien pour des bâtiments durables](#) [W1] propose une liste détaillée des opérations d'inspection et de réparation, des points de vigilance et des références bibliographiques.

Si le gestionnaire de l'ouvrage signale des infiltrations d'eau, mais qu'aucun dégât n'est repéré à la surface de la toiture lors de l'inspection, il procédera à un examen approfondi, afin de détecter les causes des infiltrations (investigations destructives, détection de concentrations d'humidité au moyen d'appareils électroniques, usage de liquides colorés ou de gaz traceurs, ...).

Rappelons que des stagnations d'eau limitées et localisées sont difficiles à éviter totalement et ne compromettent pas la durabilité de la plupart des étanchéités modernes [N2].

### 11.2.3 RÉPARATION – REMISE EN ÉTAT

Les défauts repérés durant l'inspection feront l'objet d'une réparation. Il peut s'agir par exemple :

- d'une réparation locale de l'étanchéité (décollement, ouverture des joints, dégât accidentel, ...)
- de la mise en œuvre d'une protection supplémentaire dans les zones de circulation intense
- sur une toiture lestée (toiture chaude ou toiture inversée), de la correction du lestage.

Dans le cas où des réparations provisoires sont à effectuer, il convient d'examiner les dégradations en détail et d'en déterminer la cause afin d'envisager d'éventuelles réparations définitives (voir le chapitre 12).

### 11.3 CONTRAT D'ENTRETIEN

Le gestionnaire de l'ouvrage et le responsable de l'entretien peuvent conclure un contrat d'entretien reprenant les données suivantes (liste indicative non exhaustive) :

- les coordonnées du bâtiment, du maître d'ouvrage et de l'entreprise responsable de l'entretien
- la surface concernée par le contrat
- la date de début du contrat, sa durée ainsi que les modalités de renouvellement et de rupture
- les dates ou périodes de l'année auxquelles l'entretien doit être effectué
- la description des travaux d'entretien (résumé ou liste des opérations d'inspection et de réparation telle que mentionnée ci-avant, éventuellement complétée)
- les éléments devant figurer dans le rapport : informations préalablement reçues du maître d'ouvrage, date, défauts constatés, réparations effectuées, causes possibles des défauts plus importants et conseils de réparation, impressions générales, remarques, ...
- le délai de remise du rapport.

Il convient également de prévoir dans le contrat d'entretien les conditions de prix (et d'indexation éventuelle), les conditions de paiement, la liste des travaux d'entretien inclus dans le prix du contrat ainsi que les coûts en régie (main-d'œuvre, matériaux) d'éventuelles réparations plus importantes non incluses dans le contrat.

Certains contrats types d'entretien peuvent être trouvés dans la littérature ou obtenus auprès d'instances

professionnelles telles que l'Association belge des entrepreneurs d'étanchéité (ABEE).

### 11.4 ACCESSIBILITÉ ET SÉCURITÉ

Le maître d'ouvrage veillera tout particulièrement à l'accessibilité de la toiture et prendra les mesures nécessaires pour éviter qu'elle soit endommagée. Il devra dès lors prévoir des chemins de circulation en cas d'accès fréquent à des fins d'entretien (installations, panneaux solaires, ...) ainsi qu'à l'endroit où l'on accède à la toiture (cf. § 9.2, p. 116).

En ce qui concerne la possibilité de circuler sur le complexe de toiture et donc sur l'isolation (et l'étanchéité), on se référera aux chapitres 7 et 8 (pp. 67 et 83), qui fixent des exigences pour les caractéristiques mécaniques de l'isolant (résistance à la compression, au fluage et au poinçonnement) et de l'étanchéité (résistance au poinçonnement) en fonction de l'utilisation de la toiture.

Des dispositifs doivent être prévus pour pouvoir accéder à la toiture en toute sécurité. L'élaboration de ces aspects sécuritaires appartient en principe au gestionnaire de l'ouvrage.

S'il est prévu de circuler régulièrement sur la toiture (terrasse, installations techniques, exigences accrues de sécurité, ...), il est conseillé d'opter, dès la conception, pour des acrotères conformes aux exigences normatives relatives aux garde-corps, ou pour des balustrades en bordure de toit. Les exigences en la matière sont définies dans la norme NBN B 03-004 [B6].

En plus d'une protection antichute permanente, il est également prudent de ne placer aucune installation trop près des bords de la toiture et de respecter la distance minimum nécessaire à un entretien en toute sécurité (entre 80 cm et 1 m) [M8].

Les travailleurs exposés à un risque de chute d'une hauteur supérieure à 2 m sont tenus de faire usage d'équipements de protection individuelle (EPI) contre les chutes de hauteur (harnais antichute à points d'ancrage), si les risques ne peuvent pas être éliminés à la source ou ne peuvent être suffisamment limités par des mesures de protection collective. Pour de plus amples informations en la matière, on consultera l'arrêté royal du 13 juin 2005 [S4].



## PATHOLOGIES DES TOITURES PLATES

---

*Le tableau 35 (pp. 134 et suivantes) décrit les pathologies rencontrées sur les toitures plates, leurs symptômes ou leurs caractéristiques, leurs causes potentielles, les solutions envisageables et les mesures de prévention à prendre.*

Tableau 35 Pathologies des toitures plates : causes possibles, solutions et mesures de prévention envisageables.

Type de désordre, caractéristiques et symptômes	Causes potentielles	Solutions et mesures de prévention envisageables
<b>Dégradation d'un support de toiture en béton cellulaire</b> (figures 100 et 101) <ul style="list-style-type: none"> <li>Fléchissement du support et stagnations d'eau</li> <li>Corrosion et éclatement de l'enrobage des armatures</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Excès d'humidité dû à une condensation interne résiduelle (classe de climat intérieur IV) ou à des infiltrations</li> <li>Corrosion des armatures ( vapeurs de chlore, piscine)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consulter un ingénieur expert en stabilité des structures.</li> <li>Remplacer les panneaux fortement endommagés.</li> <li>Poser un pare-vapeur et une isolation thermique supplémentaires pour limiter le phénomène de condensation.</li> <li>Voir le § 10.3.4, p. 126 (amélioration de la pente).</li> </ul> <p><b>Prévention</b> Ne pas utiliser de panneaux en béton cellulaire en classe de climat IV.</p>
<b>Humidité piégée dans des hourdis préfabriqués</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Apparition de taches d'humidité au plafond</li> <li>Détection de coulures d'eau lors du sondage du support</li> </ul>	<p>Accumulation d'eau dans les alvéoles des hourdis en phase de construction</p>	<p>Forer des trous aux points les plus bas des alvéoles.</p> <p><b>Prévention</b> Percer préalablement les hourdis jusqu'aux alvéoles.</p>
<b>Corrosion de tôles d'acier profilées</b> (figure 102) <ul style="list-style-type: none"> <li>Corrosion et déformation excessive des tôles</li> <li>Présence de coulures d'eau</li> </ul>	<p>Stagnation d'eau dans les cannelures due à :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>des fuites dans l'étanchéité de toiture ou des infiltrations à l'arrière des relevés d'étanchéité (contournement des relevés)</li> <li>un phénomène de condensation 'inversée'</li> <li>une accumulation d'eau de pluie en cours de construction.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réaliser des perforations à mi-portée.</li> <li>Éliminer la cause des fuites et les possibilités de contournement de l'étanchéité (1).</li> <li>Améliorer le niveau d'isolation et/ou l'étanchéité à l'air du complexe de toiture (2).</li> <li>Maintenir un climat intérieur 'normal' pour éviter une humidification par condensation.</li> <li>Voir la <a href="#">Note d'information technique n° 239</a> (annexe 4) [C8].</li> </ul> <p><b>Prévention</b> Éviter les problèmes d'infiltration et de condensation en réalisant une composition de toiture adéquate et en soignant les raccords.</p>
<b>Fixation mécanique défaillante</b> (figure 103) <ul style="list-style-type: none"> <li>Perforation de l'étanchéité par les fixations</li> <li>Desserrage ou arrachement des fixations mécaniques</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Plaquettes de répartition inadaptées à la rigidité du matériau d'isolation.</li> <li>Serrage excessif des vis.</li> <li>Poinçonnement de l'étanchéité par les vis en raison des déformations d'un matériau d'isolation compressible.</li> <li>Circulation intense sur l'étanchéité.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enlever les fixations défectueuses</li> <li>Refixer l'isolation et l'étanchéité à l'aide de vis et de plaquettes appropriées (1).</li> <li>Poser une bande de recouvrement sur les nouvelles fixations.</li> <li>Contrôler le serrage au préalable (2).</li> <li>Utiliser des vis pourvues d'un filet supplémentaire sous la tête ou des fixations télescopiques (3).</li> </ul> <p><b>Prévention</b> Utiliser des fixations compatibles avec le matériau d'isolation (voir le tableau 10 et l'annexe 4 de la <a href="#">Note d'information technique n° 239</a>) [C8].</p>



Fig. 100 Dégradation d'un support en béton cellulaire.



Fig. 101 Dégradation d'un support en béton cellulaire.

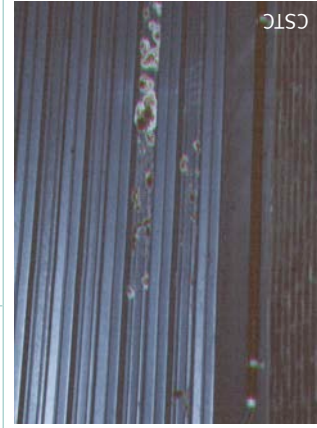


Fig. 102 Corrosion de tôles d'acier profilées.



Fig. 103 Fixation mécanique instable.

Type de désordre, caractéristiques et symptômes	Causes potentielles	Solutions et mesures de prévention envisageables
<p><b>Dégradation de contreplaqué en rive de toiture</b> (figure 104)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Délamination du contreplaqué</li> <li>• Arrachement de l'obturation de la coulisse et de la finition de rive</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Humidité provenant :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- d'infiltrations (cette cause est toutefois souvent exclue; une infiltration constitue un phénomène localisé, tandis que ce type de dégradation est souvent généralisé)</li> <li>- d'une inclusion d'humidité de construction (dans la forme de pente, les ouvertures de blocs perforés utilisés en acrotère)</li> <li>- d'une condensation (production élevée d'humidité à l'intérieur, conception inadaptée du relevé).</li> </ul> </li> <li>• Qualité de contreplaqué inadaptée (bois et collage).</li> </ul>	<p><b>Prévention</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Opter pour un contreplaqué adapté à cet usage : variété de bois suffisamment durable (classe I à III sans traitement de préservation) et collage de classe 2 au moins (cf. <a href="#">Les Dossiers du CSTC 2016/4:7</a>) [C24].</li> <li>• Éviter une humidification excessive : limiter l'humidité de construction dans l'acrotère (matériau plein ou obturation des ouvertures des blocs perforés) ou dans la forme de pente; concevoir les détails en fonction de la classe de climat intérieur, de façon à limiter la condensation à cet endroit (pare-vapeur et isolation complémentaire plutôt que maçonnerie isolante en classe IV; voir la <a href="#">Note d'information technique n° 244</a>) [C10].</li> </ul>
<p><b>Condensation inversée de l'humidité piégée dans un complexe de toiture</b> (figures 105 et 106)</p> <p>Taches d'humidité ou suintements d'eau au droit des 'discontinuités' du support de toiture (fissures, points d'éclairage, ...) pendant les périodes d'ensoleillement, en général dans les zones moins bien isolées (rives, ...)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Migration vers l'intérieur de l'humidité de construction confinée (dans un béton de pente léger, par exemple) et de l'eau d'infiltration durant l'été par condensation inversée</li> <li>• Accentuation du phénomène dans les toitures peu isolées (gradient de température plus important dans la forme de pente)</li> </ul>	<p>Poser une isolation thermique supplémentaire sur le support de toiture.</p> <p><b>Prévention</b></p> <p>Éviter d'enfermer de l'humidité de construction dans le complexe de toiture.</p>
<p><b>Pose irrégulière des panneaux d'isolation à pente intégrée en raison de la présence de conduits sur le support de toiture</b> (figure 107)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stagnations d'eau importantes malgré la présence de panneaux d'isolation à pente intégrée (2 %)</li> <li>• Présence de conduits électriques au-dessus du pare-vapeur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impossibilité de poser correctement les panneaux d'isolation en raison de la présence de conduits électriques et des inégalités du support de toiture</li> <li>• Panneaux d'isolation fragilisés par les découpes pratiquées autour des tuyaux</li> </ul>	<p>Voir "Stagnations d'eau sur la toiture plate", p. 136.</p> <p><b>Prévention</b></p> <p>L'usage de panneaux à isolation intégrée nécessite de prêter attention :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• à la planéité du support</li> <li>• à la présence de conduits, qui doivent être placés dans une couche d'égalisation plane.</li> </ul>



Fig. 107 Pose irrégulière de panneaux d'isolation à pente intégrée.



Fig. 106 Humidité dans un complexe toiture.



Fig. 105 Condensation inversée.

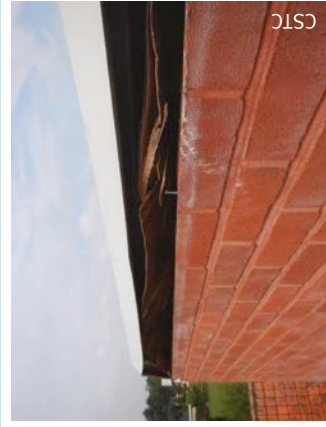


Fig. 104 Dégradation de contreplaqué en rive de toiture.

(suite du tableau pp. 136 et suivantes)

Tableau 35 Pathologies des toitures plates : causes possibles, solutions et mesures de prévention envisageables (suite 1).

Type de désordre, caractéristiques et symptômes	Causes potentielles	Solutions et mesures de prévention envisageables
<p><b>Stagnations d'eau sur la toiture plate</b> (figures 108 et 109)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pente insuffisante de la toiture</li> <li>Risque accru de stagnation d'eau dans la gouttière ou le chéneau lorsque la pente est assurée par des éléments préfabriqués en pente (bâtiments industriels)</li> <li>Impossibilité d'exclure totalement de légères stagnations d'eau, même si la toiture est réalisée selon les 'règles de l'art'</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>De légères stagnations d'eau ne constituent pas un motif de réserve suffisant lors de la réception d'une toiture (voir <a href="#">Les Dossiers du CSTC 2013/4-7</a> [N2]).</li> <li>En cas de stagnations d'eau importantes, améliorer la pente du toit (voir § 10.3-4, p. 126).</li> </ul> <p><b>Prévention</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Prévoir une pente d'au moins 2 % lors de la conception de la toiture.</li> <li>Les dispositifs d'évacuation d'eau doivent de préférence être encaissés dans le support de toiture.</li> </ul>
<p><b>Défaut de cohésion superficielle d'une forme de pente légère à base de ciment (béton mousse)</b> (figures 110 et 111)</p> <p>Surface écaillée ou poussiéreuse empêchant la bonne adhérence du pare-vapeur</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Présence d'humidité de construction en quantités importantes dans la forme de pente au moment de la pose</li> <li>Grande sensibilité des formes de pente légères et poreuses à base de ciment vis-à-vis des conditions climatiques en cours d'exécution et durant les jours qui suivent (soleil, pluie, gel, ...), pouvant entraîner une cohésion de surface ou un séchage insuffisants</li> </ul> <p>Voir <a href="#">Les Dossiers du CSTC 2014/2.5</a> [M11]</p>	<p>Poser le complexe d'étanchéité en indépendance en prévoyant un lestage (si le support le permet) ou le fixer mécaniquement (jusque dans le support de toiture).</p> <p><b>Prévention</b></p> <p>Dans des conditions climatiques défavorables, opter pour un matériau de pente moins sensible aux intempéries tel qu'un mortier de chape, un béton maigre ou des panneaux d'isolation à pente intégrée et/ou pour un système d'étanchéité pouvant être posé librement.</p>



Fig. 108 Stagnation d'eau.



Fig. 109 Stagnation d'eau.



Fig. 110 Décohésion superficielle d'une forme de pente légère à base de ciment.



Fig. 111 Décohésion superficielle d'une forme de pente légère à base de ciment.

Type de désordre, caractéristiques et symptômes	Causes potentielles	Solutions et mesures de prévention envisageables
<p><b>Condensation interne dans une toiture froide</b> (figures 112 et 113)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fléchissement du panneau de quelque temps après la mise en œuvre</li> <li>• Présence quasi généralisée de moisissures à la sous-face du panneau</li> <li>• Dans certains cas, dégradation du bois</li> </ul>	<p>Problème de condensation spécifique aux compositions de toitures froides (voir § 3-2-2, p. 33)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Risque d'inclusion d'humidité de construction et de condensation propre à ce type de toiture (cf. § 3-3-2, p. 33).</li> <li>• Nécessité de respecter, tant pendant qu'après les travaux, certaines conditions qui ne sont pas toujours entièrement maîtrisables dans la pratique et qui sont en outre susceptibles d'être modifiées en cas de changement de propriétaire ou de destination.</li> <li>• Choix inadéquat du matériau isolant et du support de toiture.</li> </ul>	<p>Transformer le complexe en toiture chaude ou inversée (sans lame d'air ventilée) : voir chapitre 10 (p. 123).</p> <p><b>Prévention</b></p> <p>Opter pour une configuration de toiture chaude ou inversée (en fonction du support).</p>
<p><b>Condensation interne dans une toiture compacte</b> (figures 114 et 115)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fléchissement du panneau de quelque temps après la mise en œuvre</li> <li>• Apparition de taches d'humidité sur le plafond après de longues périodes de chaleur sans précipitations</li> </ul>	<p>Condensation interne favorisée par :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'absence de pare-vapeur adéquat pour la classe de climat intérieur réelle et la classe de climat prévue lors de la conception</li> <li>• la légère surpression produite par le système de chauffage.</li> </ul>	<p>Transformer le complexe en toiture chaude.</p> <p><b>Prévention</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Opter de préférence pour une composition de toiture chaude ou inversée.</li> <li>• Dans le cas d'une toiture compacte, respecter les conditions requises avant, pendant et après les travaux.</li> </ul>
<p><b>Condensation interne dans une toiture chaude</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation à base de laine minérale sur tôles d'acier profilées; étanchéité bitumineuse; absence de pare-vapeur</li> <li>• Classe de climat intérieur II (prévue à la conception), qui se révèle en pratique être une classe III</li> <li>• Système de chauffage par air chaud induisant une légère surpression</li> <li>• Traces de coulures d'eau aux points bas de la toiture</li> </ul>	<p>Condensation interne favorisée par :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• l'absence de pare-vapeur adéquat pour la classe de climat intérieur réelle et la classe de climat prévue lors de la conception</li> <li>• la légère surpression produite par le système de chauffage.</li> </ul>	<p>Maîtriser autant que possible le climat intérieur.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poser une couche d'isolation thermique supplémentaire suffisante sur le complexe de toiture existant (transformation en toiture duo ou création d'une toiture chaude supplémentaire).</li> </ul> <p><b>Prévention</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prévoir un pare-vapeur adéquat en se basant sur les recommandations du tableau 14 (p. 63).</li> <li>• Déterminer correctement la classe de climat intérieur au moment de la conception.</li> </ul>



Fig. 112 Dégâts dus à la condensation interne dans une toiture froide.



Fig. 113 Dégâts dus à la condensation interne dans une toiture froide.



Fig. 114 Dégâts dus à la condensation interne dans une toiture compacte.



Fig. 115 Dégâts dus à la condensation interne dans une toiture compacte.

(suite du tableau pp. 138 et suivantes)

Tableau 35 Pathologies des toitures plates : causes possibles, solutions et mesures de prévention envisageables (suite 2).

Type de désordre, caractéristiques et symptômes	Causes potentielles	Solutions et mesures de prévention envisageables
<p><b>Humidité due à la condensation induite par la ventilation d'une conduite sanitaire</b> (figures 116 et 117)</p> <p>Infiltration d'eau au droit de la pénétration d'un conduit de ventilation sanitaire en toiture</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Condensation d'air chaud et humide dans un conduit de ventilation sanitaire qui ne permet pas aux condensats d'être dirigés vers l'extérieur (figure 116)</li> <li>2. Condensation d'air intérieur traversant l'isolation par des interstices entre le plancher et le conduit (figure 117)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Évacuer l'eau de condensation à l'extérieur via un dispositif prévu à cet effet.</li> <li>2. Assurer la continuité du pare-vapeur au droit de la jonction avec le conduit; faire éventuellement usage d'un accessoire à deux raccords munis d'une bavette permettant de relier le pare-vapeur (voir la <a href="#">Note d'information technique n° 244</a>) [C10].</li> </ol> <p><b>Prévention</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prendre les mesures nécessaires au niveau de l'accessoire en toiture pour que l'eau de condensation du conduit de ventilation soit évacuée à l'extérieur.</li> <li>• À partir de la classe de pare-vapeur Ez, réaliser un raccord étanche à l'air et à la vapeur au droit des pénétrations en toiture.</li> <li>• Adapter le système de ventilation afin qu'il n'y ait plus de surpression permanente dans la piscine.</li> <li>• Réaliser le raccord entre la rive du toit et le pare-vapeur de façon à le rendre étanche à l'air, en prolongeant le pare-vapeur jusqu'à la rive et en veillant à ce qu'il y adhère autant que possible.</li> </ul>
<p><b>Coulées d'eau le long des rives de toiture d'une piscine</b> (figure 118)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Support de toiture léger muni d'un pare-vapeur, d'une isolation et d'une étanchéité</li> <li>• Apparition, sous les rives de toiture, de coulures brunâtres sur les finitions intérieures quelques mois après la mise en service de la piscine (en légère surpression)</li> <li>• Après découpage du revêtement d'étanchéité en périphérie du toit, exfiltrations d'air chaud et de vapeur d'eau constatées entre la rive et l'isolation thermique (au passage de la main)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuites d'air en bordure de toit occasionnées par la pose non adhérente du pare-vapeur contre l'acrotère</li> <li>• Condensation sur le panneau d'obturation de la coulisse du mur creux, entraînant des coulures brunâtres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adapter le système de ventilation afin qu'il n'y ait plus de surpression permanente dans la piscine.</li> <li>• Réaliser le raccord entre la rive du toit et le pare-vapeur de façon à le rendre étanche à l'air, en prolongeant le pare-vapeur jusqu'à la rive et en veillant à ce qu'il y adhère autant que possible.</li> </ul>

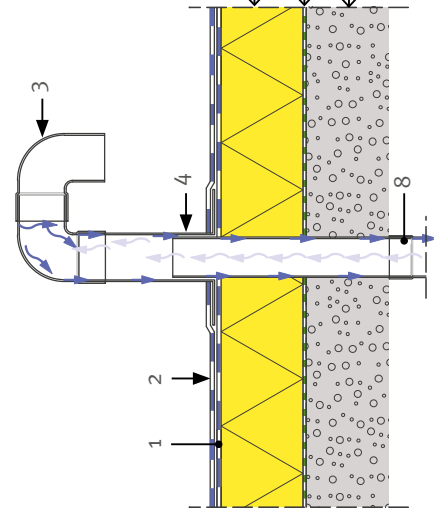


Fig. 116 Condensation induite par la ventilation d'une conduite sanitaire.

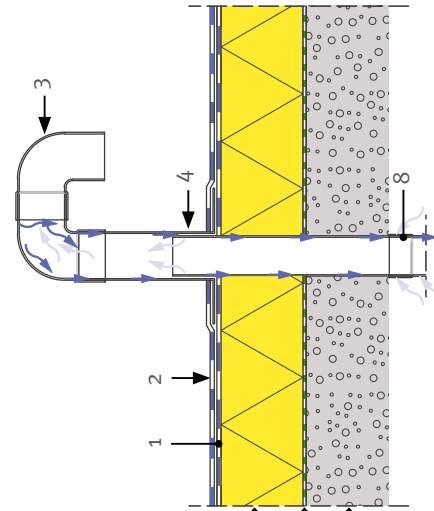


Fig. 117 Condensation induite par la ventilation d'une conduite sanitaire.



Fig. 118 Coulures dues à des écoulements d'eau le long de la rive d'une toiture de piscine.

Type de désordre, caractéristiques et symptômes	Causes potentielles	Solutions et mesures de prévention envisageables
<p><b>Marquage des bords des panneaux d'isolation thermique au travers d'un revêtement d'étanchéité</b> (figures 119 et 120)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Panneaux d'isolation PIR collés par traits sur un pare-vapeur bitumineux et surmontés d'une étanchéité synthétique posée en adhérence totale</li> <li>• Marquage des panneaux d'isolation au travers de l'étanchéité en raison d'un désaffleurement de certains panneaux</li> <li>• Aucun problème d'adhérence constaté</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cintrage excessif des panneaux d'isolation (voir les restrictions imposées à ce sujet dans l'attestation d'aptitude à l'emploi)</li> <li>• Tolérances sur l'épaisseur des panneaux d'isolation</li> <li>• Irrégularités du support dues à la surépaisseur générée par le joint du pare-vapeur sous-jacent et/ou aux variations d'épaisseur des cordons de colle PU (utilisation excessive de produit pour le collage de l'isolation).</li> </ul>	<p>Aucune solution requise, le problème n'étant pas fonctionnel, mais seulement esthétique.</p> <p><b>Prévention</b></p> <p>Si l'on souhaite limiter le désaffleurement, opter pour une autre technique de pose (fixation mécanique, collage sur toute la surface ou pose libre avec lestage).</p>
<p><b>Fissuration d'une étanchéité en PVC fixée mécaniquement avec recouvrements soudés à froid</b> (figure 121)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Membrane en PVC non armée, fixée mécaniquement dans les recouvrements (soudés au moyen d'un solvant THF)</li> <li>• Brusques différences de largeur des soudures THF entre les lés à proximité des fixations</li> <li>• Infiltrations par les déchirures de la membrane au droit des fixations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soulèvement de l'étanchéité par le vent, engendrant des concentrations de contraintes dans la membrane, notamment au droit des variations de largeur des joints soudés (contraintes ponctuelles)</li> <li>• Fixations mécaniques insuffisantes</li> <li>• Absence d'armature dans la membrane</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmenter le nombre de fixations mécaniques dans la membrane.</li> <li>• Rétablir l'étanchéité à l'eau par soudage de bandes de recouvrement.</li> </ul> <p><b>Prévention</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Déterminer le nombre de fixations en fonction des sollicitations prévues.</li> <li>• S'efforcer de souder sur une largeur constante (soudage à air chaud).</li> <li>• Faire usage de membranes armées.</li> </ul>
<p><b>Fissuration d'une étanchéité en PVC fixée mécaniquement avec recouvrements soudés à chaud</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fixation ponctuelle provisoire de l'étanchéité pour la maintenir en place, avant le soudage des recouvrements sur toute leur longueur à l'aide de la soudeuse automatique</li> <li>• Fixation provisoire effectuée à la hâte compte tenu du vent qui sévissait en cours d'exécution</li> </ul>	<p>Soulèvement de l'étanchéité par le vent, engendrant des concentrations de contraintes dans la membrane, notamment dans les zones où le vissage a été particulièrement vigoureux (contraintes ponctuelles).</p>	<p>Rétablir l'étanchéité à l'eau par soudage de bandes de recouvrement.</p> <p><b>Prévention</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Suspendre les travaux en cas de vents violents.</li> <li>• Éviter un vissage trop vigoureux lors d'une éventuelle fixation ponctuelle provisoire, pour ne pas créer de contraintes ponctuelles.</li> </ul>



Fig. 121 Fissuration d'une étanchéité en PVC fixée mécaniquement. Recouvrements soudés à froid.



Fig. 120 Marquage des bords des panneaux d'isolation au travers de l'étanchéité.



Fig. 119 Marquage des bords des panneaux d'isolation au travers de l'étanchéité.

(suite du tableau pp. 140 et suivantes)

Tableau 35 Pathologies des toitures plates : causes possibles, solutions et mesures de prévention envisageables (suite 3).

Type de désordre, caractéristiques et symptômes	Causes potentielles	Solutions et mesures de prévention envisageables
<p><b>Arrachement d'une étanchéité/isolation collée sur des éléments préfabriqués en béton</b> (fig. 122)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Composition de la toiture : <ul style="list-style-type: none"> <li>éléments TT préfabriqués en béton</li> <li>vernis d'adhérence</li> <li>panneaux de laine minérale collés en adhérence partielle</li> <li>étanchéité bitumineuse en adhérence totale</li> </ul> </li> <li>Joints non étanches à l'air entre les éléments du support de toiture et entre les éléments de la façade</li> <li>Désaffleurement des éléments du support de toiture</li> <li>Point de départ de l'arrachement situé le long des rives</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Résistance au vent insuffisante du complexe de toiture tenu de la perméabilité à l'air du support</li> <li>Manque d'adhérence de l'isolation thermique due aux irrégularités du support de toiture</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mettre en place une étanchéité à l'air dans la zone endommagée.</li> <li>Coller l'isolation selon les directives de l'attestation d'aptitude à l'emploi (correction des imperfections du support).</li> <li>Fixer mécaniquement l'étanchéité/isolation dans les zones non endommagées.</li> <li>Poser un nouveau revêtement d'étanchéité.</li> <li>Au besoin, appliquer si possible une couche de protection.</li> </ul> <p><b>Prévention</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>En cas de désaffleurements importants, adapter la largeur des panneaux d'isolation à celle des éléments en béton (voir NIT 244, § 7.6.1.2) [C10].</li> <li>Lors du calcul de la résistance au vent, tenir compte de l'étanchéité à l'air du support de toiture et prévoir si nécessaire des fixations mécaniques ou une protection supplémentaire.</li> </ul>
<p><b>Formation de glace à la jonction du toit et du mur de façade d'un entrepôt de congélation</b> (figure 123)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Support de toiture léger</li> <li>Façade constituée de panneaux sandwichs modulaires assemblés par rainures et languettes, et fixés sur une structure métallique</li> <li>Étanchéité appliquée sur l'acrotère jus qu'aux éléments de façade et protégée par un couvre-mur métallique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Infiltrations d'air à l'intérieur du bâtiment par le biais des rives du toit</li> <li>Condensation de l'air extérieur plus humide et formation de givre à l'intérieur du bâtiment</li> </ul> <p>Voir § 3-3-3 (p. 37)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Démonter l'acrotère et améliorer l'étanchéité à l'air.</li> <li>Vérifier et, si nécessaire, réparer les joints souples qui contribuent à l'étanchéité à l'air.</li> </ul> <p><b>Prévention</b></p> <p>Veiller à la parfaite étanchéité à l'air et à la vapeur de l'enveloppe du bâtiment. Une légère formation de givre est toutefois difficile à éviter en général.</p>
<p><b>Affaïssement de panneaux de laine minérale</b> (figure 124)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Forte compression de l'isolation sous l'effet de la circulation pédestre en toiture</li> <li>Perte de cohésion de l'isolation mise en évidence par des sondages</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perte de cohésion de la laine minérale due à des charges concentrées répétées, en particulier dans les zones où la circulation était intense durant les travaux et dans celles qui permettent d'accéder aux installations</li> <li>Humidification du matériau d'isolation</li> </ul>	<p>Envisager de remplacer l'isolation si la perte de cohésion est importante.</p> <p><b>Prévention</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Choisir le type de laine minérale en fonction de l'usage qui sera fait de la toiture.</li> <li>Protéger efficacement le toit pendant la mise en œuvre.</li> <li>Prévoir des chemins de circulation vers les installations et les dispositifs d'évacuation nécessitant un entretien périodique.</li> </ul>



Fig. 122 Arrachement d'une isolation sur des éléments préfabriqués en béton.



Fig. 123 Formation de glace dans un entrepôt de congélation.



Fig. 124 Affaïssement de panneaux de laine minérale.

Type de désordre, caractéristiques et symptômes	Causes potentielles	Solutions et mesures de prévention envisageables
<p><b>Plissement d'une étanchéité bitumineuse posée sur des panneaux de verre cellulaire</b> (figures 125 et 126)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Panneaux en verre cellulaire posés à plein bain de bitume</li> <li>• Apparition de plis le long des joints continus entre panneaux d'isolation</li> <li>• Mise en évidence, par sondage, d'irrégularités du support en béton et de plis le long des joints imparfaitement remplis entre les panneaux isolants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mise en œuvre défectueuse de l'isolation en raison des irrégularités du support</li> <li>• Inclusions d'air dues au remplissage imparfait des joints entre les panneaux isolants, pouvant entraîner des soulèvements (plis) linéaires</li> <li>• Dans certains cas, accentuation des imperfections susmentionnées par un manque d'adhérence local de l'étanchéité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si les plis n'entravent pas réellement l'évacuation de l'eau, une intervention n'est pas indispensable (défaut d'avantage d'ordre esthétique que fonctionnel).</li> <li>• Au cas où une correction est nécessaire, inciser le revêtement d'étanchéité au niveau des ondulations et remplir la zone dégagée avec du bitume. Appliquer une nouvelle étanchéité sur les zones réparées, en évitant toute inclusion d'air.</li> </ul> <p><b>Prévention</b> Réaliser la pose conformément aux dispositions de l'attestation d'aptitude à l'emploi et de la présente NIT :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• irrégularités du support : &lt; 3 mm/60 cm</li> <li>• couche de bitume au-dessus de l'isolation : 2 à 3 kg/m<sup>2</sup> avec remplissage des joints</li> <li>• pose de l'étanchéité en adhérence totale.</li> </ul>
<p><b>Décollement du parement métallique de léés bitumineux surfacés</b> (figure 127)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Décollement du parement, principalement dans les zones de circulation piétonne les moins inclinées du toit</li> <li>• Empreintes de pas visibles dans la couche protectrice à parement métallique</li> <li>• À certains endroits, possibilité de détacher facilement le parement métallique à la main</li> <li>• Parement métallique intact au niveau des rives de toiture en béton et des zones non soumises au trafic</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Absence de protection (plancher de circulation) dans les zones à fort trafic</li> <li>• Contraintes de cisaillement sous l'effet de la température, pouvant accélérer le décollement</li> <li>• Oxydation de la couche de métal au droit des recouvrements (stagnation d'eau)</li> </ul>	<p>Si l'étanchéité à l'eau est inaltérée, tenter de recoller la feuille métallique par chauffage ou appliquer un nouveau parement après avoir enlevé la couche d'aluminium.</p> <p><b>Prévention</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interdire toute circulation sur le revêtement métallique (il n'est pas conçu pour cet usage).</li> <li>• Réserver l'usage des membranes bitumineuses à parement métallique comme couches de protection (pour recouvrir une étanchéité aux supports présentant une pente suffisante (≥ 5 %)).</li> <li>• Respecter scrupuleusement les instructions de pose (longueur maximale, méthode de recouvrement, ...).</li> </ul>



Fig. 125 Plissement d'une étanchéité.

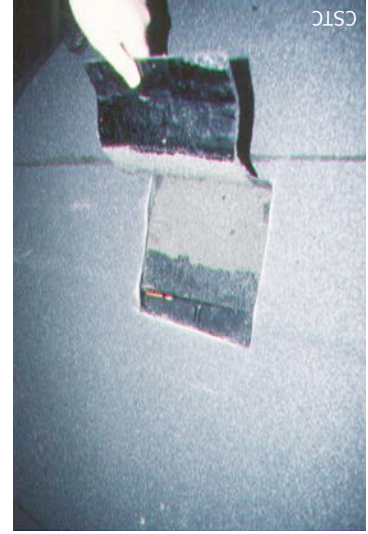


Fig. 126 Plissement d'une étanchéité.

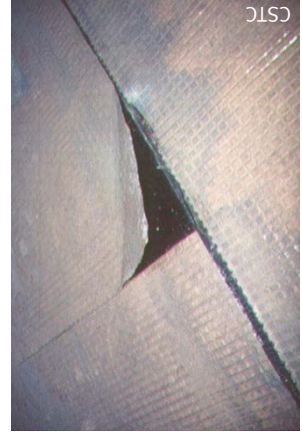


Fig. 127 Décollement d'un parement en aluminium.

(suite et fin du tableau p. 142)

Tableau 35 Pathologies des toitures plates : causes possibles, solutions et mesures de prévention envisageables (suite 4 et fin).

Type de désordre, caractéristiques et symptômes	Causes potentielles	Solutions et mesures de prévention envisageables
<p><b>Retrait dans une étanchéité bitumineuse</b> (figure 128)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de la largeur des joints de recouvrement d'une membrane bitumineuse, principalement au droit des joints transversaux</li> <li>Soudage insuffisant des joints</li> </ul> <p><b>Infiltrations dans une toiture par contournement des relevés d'une hauteur insuffisante</b> (figure 129)</p> <p>Infiltrations liées aux périodes de pluie accompagnées de vent</p>	<p>Retrait pouvant se manifester au niveau des joints d'about (transversaux) d'une étanchéité bitumineuse en cas d'adhérence/soudage insuffisants ou de fluage (écoulement) d'une étanchéité élastomère sous l'effet de températures élevées</p> <p>Infiltrations par contournement de la finition de rive en raison de la hauteur limitée du relevé d'étanchéité</p>	<p>Appliquer des bandes d'étanchéité sur les joints dégradés.</p> <p><b>Prévention</b></p> <p>Prévoir des recouvrements suffisants selon les directives en vigueur et souder les joints en adhérence totale. Accorder une attention particulière aux membranes saupoudrées de paillettes d'ardoise (voir § 8.2.4.2, tableau 21, pp. 90 et 92).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Adapter les finitions de rive et les ouvrages de détail.</li> <li>Si nécessaire, prévoir un chéneau ou une grille comme illustré dans les schémas des figures 44 et 45 de la NIT 244 [C10].</li> </ul> <p><b>Prévention</b></p> <p>Veiller à réaliser les ouvrages de raccord de la toiture conformément aux directives de la NIT 244 [C10]. Viser une hauteur minimale de 15 cm pour les relevés d'étanchéité.</p>
<p><b>Humidité piégée dans un complexe de toiture</b> (figure 130)</p> <p>Humidification du complexe de toiture pouvant entraîner :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>une humidification du matériau d'isolation et une stagnation d'eau sur le pare-vapeur</li> <li>une détérioration de la valeur isolante de la toiture et éventuellement de la durabilité de l'isolation thermique et de l'adhérence de l'étanchéité.</li> </ul>	<p>Infiltrations, condensation interne excessive ou humidité de construction emprisonnée à l'intérieur de la structure (avant ou pendant la mise en œuvre)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Voir <b>Les Dossiers du CSTC 2016/4-6 [M3]</b>.</li> <li>Les possibilités de séchage de l'humidité piégée dans un complexe toiture dépendent d'un grand nombre de facteurs (quantité d'humidité et répartition de celle-ci sur la surface du toit, type d'isolation et d'étanchéité, degré d'ensoleillement, ...). Elles peuvent être calculées par simulation numérique au moyen d'un logiciel dédié (Wufi, Delphin, ...). La plus grande difficulté consiste à évaluer correctement les différents facteurs d'influence. S'il est possible de déterminer le taux d'humidité du matériau d'isolation, il en va tout autrement lorsqu'il s'agit d'évaluer la quantité d'eau qui stagne sur le pare-vapeur.</li> <li>Une fois que le matériau d'isolation a pu sécher, il retrouve généralement son pouvoir isolant. En attendant, il est possible de placer une couche d'isolation thermique supplémentaire dans la toiture.</li> </ul> <p><b>Prévention</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Éviter d'humidifier les matériaux d'isolation avant et pendant la pose (cf. § 7.1.8, p. 72).</li> <li>Prévenir les problèmes d'infiltration et de condensation grâce à une conception judicieuse et une mise en œuvre soignée.</li> </ul>



Fig. 128 Retrait dans une étanchéité bitumineuse.



Fig. 129 Relevé d'une hauteur insuffisante.



Fig. 130 Humidification dans un complexe toiture.



Tableau 37 Sollicitation du vent sur une toiture plate d'une pente maximale de 5° pour une vitesse de référence du vent  $v_{b,0} = 24 \text{ m/s}$ .

Catégorie du terrain (cf. tableau 2, p. 12)		Hauteur de toiture jusqu'à (m)																																																																																																				
Zone 0	Zone I	Zone II	Zone III	Zone IV	1,8	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,5	14,0	14,5	15,0	15,5	16,0	16,5	17,0	17,5	18,0	18,5	19,0	19,5	20,0	20,5	21,0	21,5	22,0	22,5	23,0	23,5	24,0	24,5	25,0	25,5	26,0	26,5	27,0	27,5	28,0	28,5	29,0	29,5	30,0	30,5	31,0	31,5	32,0	32,5	33,0	33,5	34,0	34,5	35,0	35,5	36,0	36,5	37,0	37,5	38,0	38,5	39,0	39,5	40,0	40,5	41,0	41,5	42,0	42,5	43,0	43,5	44,0	44,5	45,0	45,5	46,0	46,5	47,0	47,5	48,0	48,5	49,0	49,5	50,0
Zone du toit (*)																																																																																																						
Cas 1 : façade majoritairement perméable à l'air																																																																																																						
Cas 2 : façades à perméabilité uniforme																																																																																																						
Cas 3 : support étanche à l'air																																																																																																						
Cas 4 : partie courante.																																																																																																						





## Condensation interne – Méthode de calcul et critères d'évaluation

Pour choisir le type d'écran pare-vapeur à installer dans une toiture plate (chapitre 6, p. 55), il convient de déterminer la quantité de condensation potentiellement présente, laquelle doit être limitée. Le condensat résultant de la diffusion de vapeur peut être calculé, en première approximation, selon la méthode de Glaser. Celle-ci est cependant basée sur un calcul statique et ne tient pas compte de la dynamique des phénomènes (stockage d'humidité et de chaleur dans les matériaux), du transfert d'eau sous forme liquide (capillarité des matériaux) et du comportement hygroscopique des matériaux. Bien que ces processus aient généralement peu d'importance dans les toitures plates les plus courantes, il est parfois nécessaire de procéder à une analyse avec un logiciel de simulation hygrothermique dynamique basé sur une méthode plus sophistiquée (cf. méthode de la norme NBN EN 15026) [B48]. Ce type de logiciel permet de tenir compte des mécanismes précités et de nombreux autres paramètres. Le climat extérieur peut être décrit en détail, c'est-à-dire en spécifiant la température et l'humidité relative, mais également l'ensoleillement direct et diffus, la température du ciel (échanges par rayonnement entre la toiture et la voûte céleste), les précipitations, l'orientation et la vitesse du vent, etc. L'orientation et la pente de la paroi ainsi que des paramètres tels que le coefficient d'absorption solaire et l'émissivité peuvent être pris en compte pour calculer les échanges thermiques et hydriques entre la toiture

et son environnement (intérieur et extérieur). Il est en outre possible d'obtenir un grand nombre d'informations sur l'état de la paroi, telles que la température et l'humidité relative en chaque point du complexe, mais également le taux d'humidité des matériaux, la pression capillaire et l'évolution dans le temps des différentes grandeurs calculées.

Pour le calcul des données climatiques de la station météorologique la plus proche, il faut tenir compte, dans la mesure du possible, de l'orientation, de la pente et des caractéristiques d'absorption de la toiture.

Les données du tableau 40 peuvent servir à évaluer le risque de condensation interne dans la paroi. Il est à noter que la présence de condensation résiduelle annuelle dans une toiture ne peut être admise que de manière temporaire et si la quantité de condensat reste à tout moment sous la limite supérieure tolérée.

Dans une composition de toiture classique, c'est principalement l'isolation qui sera soumise à la condensation. Dans des compositions particulières, d'autres matériaux peuvent également y être exposés (voir tableau 40). Lorsque la structure renferme du bois, on s'assurera que le matériau conserve un taux d'humidité en masse inférieur à 20 %, pour autant que la méthode de calcul permette d'obtenir cette valeur.

Tableau 40 Critères d'évaluation de la condensation interne.

Nature de la surface de condensation	Critère (kg/m <sup>2</sup> ) (*)
<b>Matériau capillaire non hygroscopique</b> (brique, par exemple) : le condensat est absorbé par le matériau par capillarité. De ce fait, une zone humide critique apparaît sur une certaine épaisseur et un équilibre s'établit entre humidification et séchage. La présence de condensation est acceptable si le matériau est résistant au gel ou si la zone humide ne s'étend pas jusqu'à la surface de la façade. Dans ce dernier cas, des efflorescences risquent de se former aux endroits non balayés par la pluie.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Résistant au gel : <math>m_r + m_c \leq w_{cr} \cdot d</math></li> <li>• Non résistant au gel : <math>m_r + m_c \leq 0,05 w_{cr} \cdot d</math></li> </ul>
<b>Matériau hygroscopique peu capillaire</b> (bois, par exemple) : la succession de périodes humides et sèches provoque une oscillation annuelle du taux d'humidité hygroscopique du matériau. Cette variation ne pose aucun problème en l'absence d'humidification résiduelle annuelle et si les taux d'humidité sont suffisamment bas pour empêcher la putréfaction des matériaux végétaux.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>m_r \leq 0</math></li> <li>• Matériau résistant à l'humidité : <math>m_c \leq 0,03 \rho d \leq 0,200</math></li> <li>• Matériau non résistant à l'humidité : <math>m_c \leq 0,050</math></li> </ul>
<b>Matériau non hygroscopique et non capillaire</b> (matière synthétique, métal) : les gouttes de condensation restent accrochées à la surface de condensation sous l'action de la tension superficielle, jusqu'à ce qu'elles s'écoulent, ayant atteint une certaine taille. Si le condensat n'est pas évacué par une coulisse drainée, il peut provoquer des dégâts importants. La quantité de condensat admissible dépend de la pente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>m_r \leq 0</math></li> <li>• Paroi inclinée proche de la verticale : <math>m_c \leq 0,200</math></li> <li>• Paroi inclinée proche de l'horizontale : <math>m_c \leq 0,5</math></li> </ul>
<b>Matériau isolant avec finition extérieure pare-vapeur</b> (toiture plate chaude) : le matériau isolant est saturé d'eau sur une certaine épaisseur à partir de la surface de condensation, provoquant un accroissement des pertes énergétiques à travers la structure.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>m_r \leq 0</math></li> <li>• <math>m_c \leq 0,200</math></li> </ul>
(*) $m_r$ : quantité maximale de condensation résiduelle (kg/m <sup>2</sup> ) – $m_c$ : quantité maximale de condensation (kg/m <sup>2</sup> ) – $w_{cr}$ : taux d'humidité critique (kg/m <sup>3</sup> ) – $d$ = épaisseur de la couche (m) – $\rho$ = densité (kg/m <sup>3</sup> ).	

## ATG – BENOR – ETA

Pour tout produit de construction couvert par une norme harmonisée ou une évaluation technique européenne (voir ci-après), le **marquage CE** est le seul qui atteste de la conformité du produit aux performances déclarées par le fabricant; celles-ci correspondent aux caractéristiques essentielles visées par la norme harmonisée ou par l'évaluation technique européenne. D'autres marquages sont autorisés, pour autant qu'ils participent à la protection des utilisateurs des produits et qu'ils ne soient pas soumis à la législation d'harmonisation de l'Union européenne.

Le règlement n° 305/2011 sur les produits de construction [U4] fait référence aux **évaluations techniques européennes** (*European Technical Assessment – ETA*). Il s'agit d'une évaluation documentée des caractéristiques essentielles d'un produit de construction, établie conformément au **document d'évaluation européen** (*European Assessment Document – EAD*) applicable. Un fabricant peut demander une ETA à un organisme d'évaluation technique lorsque son produit n'est pas couvert (ou pas totalement couvert) par une norme harmonisée. Les documents d'évaluation européens ont désormais le statut de spécifications techniques européennes harmonisées et sont cités au Journal officiel de l'Union européenne au même titre que les normes harmonisées. À la différence près que cette citation ne s'accompagne pas d'une période de coexistence, car l'application d'un document d'évaluation européen reste volontaire, contrairement aux normes européennes harmonisées.

En Belgique, les marques volontaires **ATG** et **BENOR** restent applicables si elles apportent une plus-value au marquage CE en matière de protection des utilisateurs. Les deux marques répondent aux besoins d'information et de fiabilité spécifiques aux utilisateurs du secteur belge de la construction, compte tenu des risques liés à l'application des produits et des systèmes intégrant ces produits.

L'**agrément technique ATG**, en incluant une description du produit ou système et de ses caractéristiques techniques, confère un avis favorable sur le produit ou le système d'un fabricant pour un domaine d'application bien défini. Délivré en principe sur la base d'un guide d'agrément, il porte sur des produits ou systèmes pour lesquels il n'existe pas de normes de produit (principalement des systèmes et produits innovants ou des produits comportant plusieurs composants). Il est toujours accompagné d'une certification. Celle-ci est accordée par un organisme de certification mandaté par l'UBAtc (Union belge pour l'agrément technique dans la construction) et exerçant un contrôle externe périodique sur la conformité de la

production avec l'agrément publié. La certification apporte la garantie que le produit faisant l'objet de l'agrément correspond bien à celui qui est commercialisé sur le marché belge.

Un agrément technique était autrefois renouvelé tous les 3 à 5 ans. Ce processus prévoyait une réévaluation complète du dossier et des principales caractéristiques du produit ou du système sur la base des dernières connaissances techniques et scientifiques. Toutefois, vu le caractère périodique du renouvellement, les textes des agréments faisaient parfois référence à une législation ou à des spécifications obsolètes. De plus, en raison des améliorations apportées par le fabricant, le produit mis sur le marché ne correspondait plus forcément à celui couvert par l'agrément.

L'UBAtc a dès lors introduit le concept d'évaluation continue, qui permet de vérifier si l'aptitude à l'emploi de la plupart des familles de produits est préservée et si le texte de l'agrément correspond toujours au produit ou au système intégrant le produit. La validité de l'agrément est en principe prolongée tous les ans.

L'évaluation continue est un processus qui vise la validité continue du dossier d'agrément et de certification ainsi que du texte de l'agrément sans demande de renouvellement. L'agrément reste donc valable sans date de clôture, à moins qu'il soit abrogé.

Le Bureau de normalisation (NBN) est responsable de l'élaboration et de la publication des normes en Belgique. BENOR asbl et ses organismes de certification affiliés attestent qu'un produit ou un service est conforme à un référentiel de qualité technique et normatif adopté par l'ensemble des parties concernées dans sa mise sur le marché et son utilisation. Ce référentiel est constitué d'une norme et d'un document normatif appelé 'Prescriptions techniques – Technische Voorschriften' (PTV). La marque BENOR couvre toutes les caractéristiques du produit pertinentes pour son application et sa mise en œuvre. La licence est basée sur une certification du produit :

- le fabricant garantit la continuité de la conformité de son produit ou de son service sur la base d'un autocontrôle industriel ou sectoriel
- l'organisme de certification confirme, par le biais d'un contrôle externe périodique, l'existence d'un niveau de confiance suffisant dans l'aptitude du fabricant à garantir la conformité du produit et en apporte la preuve par la délivrance d'un certificat BENOR de conformité. Le contrôle externe périodique permet de vérifier la fiabilité de l'autocontrôle et de prélever des échantillons en vue de réaliser des essais de contrôle.

## Liste des abréviations utilisées

Isolation de toiture	
<b>CG</b> ( <i>cellular glass</i> )	Verre cellulaire
<b>EPB</b> ( <i>expanded perlite board</i> )	Perlite expansée
<b>EPS</b> ( <i>expanded polystyrene</i> )	Polystyrène expansé
<b>ICB</b> ( <i>impregnated cork board</i> )	Liège
<b>MW</b> ( <i>mineral wool</i> )	Laine minérale
<b>PF</b> ( <i>phenolic foam</i> )	Mousse phénolique
<b>PU</b>	Polyuréthane (PUR) / polyisocyanurate (PIR)
<b>VIP</b> ( <i>vacuum insulation panel</i> )	Panneau d'isolation sous vide
<b>WF</b> ( <i>wood fibre</i> )	Fibre de bois
<b>XPS</b> ( <i>extruded polystyrene</i> )	Polystyrène extrudé

Étanchéité de toiture / Pare-vapeur	
<b>Matériaux bitumineux</b>	
<b>Px</b>	Membrane bitumineuse armée d'un non-tissé de polyester, où x est l'épaisseur en mm
<b>Vx</b>	Membrane bitumineuse armée d'un voile de verre, où x est l'épaisseur en mm
<b>Matériaux synthétiques</b>	
<b>ECB ou EBT</b>	Copolymère d'acétate de vinyle et d'éthylène et bitume
<b>EPDM</b>	Terpolymère d'éthylène, de propylène et diène-monomère
<b>EVA</b>	Copolymère d'acétate de vinyle et d'éthylène
<b>FPO</b>	Polyoléfine flexible (également appelée TPO, polyoléfine thermoplastique)
<b>PE</b>	Polyéthylène
<b>PIB</b>	Polyisobutylène
<b>PVC</b>	Polychlorure de vinyle (souple)
<b>Matériaux appliqués à l'état liquide</b>	
<b>PMMA</b>	Polyméthylméthacrylate
<b>PU</b>	Polyuréthane
<b>PUE</b>	Polyurée
<b>PUMA</b>	Résine hybride PU-PMMA
<b>SMP</b>	Polymère modifié silane ( <i>silyl modified polymer</i> )
<b>UP ou PES</b>	Polyester insaturé

Techniques de pose des étanchéités	
<b>L</b>	Pose en indépendance
<b>T</b>	Pose en adhérence totale
<b>P</b>	Pose en adhérence partielle (ou en semi-indépendance)
<b>M</b>	Fixation mécanique

Marquage et agréments	
<b>ATG</b>	Agrément technique
<b>EAD</b>	Document d'évaluation européen ( <i>European Assessment Document</i> ), remplace l'ETAG (guide d'agrément technique européen)
<b>EOTA</b>	<i>European Organisation for Technical Assessment</i>
<b>ETA</b>	Évaluation technique européenne ( <i>European Technical Assessment</i> )
<b>UBA<sub>tc</sub></b>	Union belge pour l'agrément technique dans la construction
<b>UEA<sub>tc</sub></b>	Union européenne pour l'agrément technique dans la construction
<b>Construction durable</b>	
<b>ACV (LCA)</b>	Analyse du cycle de vie ( <i>life cycle analysis</i> )
<b>EPD</b>	Déclaration environnementale de produit ( <i>environmental product declaration</i> )



# BIBLIOGRAPHIE

## A

### Association belge des entrepreneurs d'étanchéité (ABEE)

A1 La sécurité incendie lors de travaux d'étanchéité de toiture. Bruxelles, ABEE, mars 2014.

### Association nationale de protection contre les incendies (ANPI, <https://www.anpi.be>)

A2 Les travaux par point chaud. Le permis de feu. Principes de prévention incendie. Bruxelles, ANPI, Dossier technique ANPI ST 148, 2012.

### Akbari H. et Levinson R.

A3 Evolution of Cool-Roof Standards in the US. Londres, Advances in Building Energy Research, janvier 2008.

## B

### Belgian Construction Certification Association (BCCA, <https://www.bcca.be>)

B1 PTV 46-002 Sous-couches et pare-vapeur pour toiture plate sous forme de membrane à base de bitume. Bruxelles, BCCA, Prescriptions techniques/Technische Voorschriften, n° 46-002, 2019.

### Building Cost Information Service (BCIS, [www.bcis.co.uk](http://www.bcis.co.uk))

B2 Life Expectancy of Building Components: Surveyors' Experiences of Buildings in Use: a Practical Guide. Londres, BCIS, 2006.

### Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen

B3 Nutzungsdauern von Bauteilen für Lebenszyklusanalysen. Berlin, 2011.

### Bureau de normalisation (NBN, Bruxelles, [www.nbn.be](http://www.nbn.be))

B4 CEN/TS 16459:2019 Exposition des toitures et des couvertures à un feu extérieur. Application étendue des résultats d'essai de la CEN/TS 1187.

B5 NBN B 03-003:2003 Déformation des structures. Valeurs limites de déformation. Bâtiments.

B6 NBN B 03-004:2017 Garde-corps de bâtiments.

B7 NBN B 52-011:1989 Évacuation des eaux des ouvrages d'art. Calcul du dispositif d'évacuation des eaux des ponts-route.

B8 NBN B 62-002:2008 Performances thermiques de bâtiments. Calcul des coefficients de transmission thermique (valeurs U) des composants et éléments de bâtiments. Calcul des coefficients de transfert de chaleur par transmission (valeur HT) et par ventilation (valeur Hv).

B9 NBN B 62-002/A1:2001 Calcul des coefficients de transmission thermique des parois des bâtiments (+ erratum).

B10 NBN CEN/TS 1187:2013 Méthodes d'essai pour l'exposition des toitures à un feu extérieur.

B11 NBN D 50-001:1991 Dispositifs de ventilation dans les bâtiments d'habitation.

B12 NBN EN 300:2006 Panneaux de lamelles minces, longues et orientées (OSB). Définitions, classification et exigences.

B13 NBN EN 312:2010 Panneaux de particules. Exigences.

B14 NBN EN 338:2016 Bois de structure. Classes de résistance.

B15 NBN EN 622-1:2003 Panneaux de fibres. Exigences. Partie 1 : exigences générales.

B16 NBN EN 622-2:2004 Panneaux de fibres. Exigences. Partie 2 : exigences pour panneaux durs.

- B17 NBN EN 622-3:2004 Panneaux de fibres. Exigences. Partie 3 : exigences pour panneaux mi-durs.
- B18 NBN EN 622-4:2019 Panneaux de fibres. Exigences. Partie 4 : exigences pour panneaux isolants.
- B19 NBN EN 622-5:2010 Panneaux de fibres. Exigences. Partie 5 : exigences pour panneaux obtenus par procédé à sec (MDF).
- B20 NBN EN 636+A1:2015 Contreplaqué. Exigences.
- B21 NBN EN 1107-1:1999 Feuilles souples d'étanchéité. Détermination de la stabilité dimensionnelle. Partie 1 : feuilles d'étanchéité de toiture bitumineuse.
- B22 NBN EN 1109:2013 Feuilles souples d'étanchéité. Feuilles d'étanchéité de toiture bitumineuses. Détermination de la souplesse à basse température.
- B23 NBN EN 1110:2011 Feuilles souples d'étanchéité. Feuilles d'étanchéité de toitures bitumineuses. Détermination de la résistance au fluage à température élevée.
- B24 NBN EN 1849-2:2019 Feuilles souples d'étanchéité. Détermination de l'épaisseur et de la masse surfacique. Partie 2 : feuilles d'étanchéité de toiture plastiques et élastomères.
- B25 NBN EN 1991-1-1:2002 Eurocode 1 Actions sur les structures. Partie 1-1 Actions générales. Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation bâtiments (+ AC:2009).
- B26 NBN EN 1991-1-1 ANB:2007 Eurocode 1 Actions sur les structures. Partie 1-1 Actions générales. Poids volumiques, poids propre, charges d'exploitation pour les bâtiments.
- B27 NBN EN 1991-1-3:2003 Eurocode 1 Actions sur les structures. Partie 1-3 Actions générales. Charges de neige (+ AC:2009).
- B28 NBN EN 1991-1-4:2005 Eurocode 1 Actions sur les structures. Partie 1-4 Actions générales. Actions du vent (+ AC:2010).
- B29 NBN EN 1991-1-4 ANB:2010 Eurocode 1 Actions sur les structures. Partie 1-4 Actions générales. Actions du vent. Annexe nationale.
- B30 NBN EN 1995-1-1:2005 Eurocode 5 Conception et calcul des structures en bois. Partie 1-1 Généralités. Règles communes et règles pour les bâtiments (+ AC:2006).
- B31 NBN EN 12056-3:2000 Réseaux d'évacuation gravitaire à l'intérieur des bâtiments. Partie 3 : système d'évacuation des eaux pluviales, conception et calculs.
- B32 NBN EN 12316-1:1999 Feuilles souples d'étanchéité. Partie 1 : feuilles d'étanchéité de toiture bitumeuses. Détermination de la résistance au pelage des joints.
- B33 NBN EN 12730:2015 Feuilles souples d'étanchéité. Feuilles d'étanchéité de toitures bitumineuses, plastiques et élastomères. Détermination de la résistance au poinçonnement statique.
- B34 NBN EN 13162+A1:2015 Produits isolants thermiques pour le bâtiment. Produits manufacturés en laine minérale (MW). Spécification.
- B35 NBN EN 13163:2012+A2:2016 Produits isolants thermiques pour le bâtiment. Produits manufacturés en polystyrène expansé (EPS). Spécification.
- B36 NBN EN 13164+A1:2015 Produits isolants thermiques pour le bâtiment. Produits manufacturés en mousse de polystyrène extrudé (XPS). Spécification.
- B37 NBN EN 13165:2012+A2:2016 Produits isolants thermiques pour le bâtiment. Produits manufacturés en mousse rigide de polyuréthane (PU). Spécification.
- B38 NBN EN 13166:2012+A2:2016 Produits isolants thermiques pour le bâtiment. Produits manufacturés en mousse phénolique (PF). Spécification.
- B39 NBN EN 13167+A1:2015 Produits isolants thermiques pour le bâtiment. Produits manufacturés en verre cellulaire (CG). Spécification.
- B40 NBN EN 13169+A1:2015 Produits isolants thermiques pour le bâtiment. Produits manufacturés en panneaux de perlite expansée (EPB). Spécification.
- B41 NBN EN 13170+A1:2015 Produits isolants thermiques pour le bâtiment. Produits manufacturés en liège expansé (ICB). Spécification.
- B42 NBN EN 13171+A1:2015 Produits isolants thermiques pour le bâtiment. Produits manufacturés en fibres de bois (WF). Spécification.
- B43 NBN EN 13501-1:2019 Classement au feu des produits et éléments de construction. Partie 1 : classement à partir des données d'essais de réaction au feu.
- B44 NBN EN 13501-2:2016 Classement au feu des produits et éléments de construction. Partie 2 : classement à partir des données d'essais de résistance au feu à l'exclusion des produits utilisés dans les systèmes de ventilation.
- B45 NBN EN 13501-5:2016 Classement au feu des produits et éléments de construction. Partie 5 : classement utilisant des données d'essais au feu des toitures exposées à un feu extérieur.
- B46 NBN EN 13707:2013 Feuilles souples d'étanchéité. Feuilles bitumineuses armées pour l'étanchéité de toiture. Définitions et caractéristiques.

- B47 NBN EN 13956:2013 Feuilles souples d'étanchéité. Feuilles d'étanchéité de toiture plastiques et élastomères. Définitions et caractéristiques.
- B48 NBN EN 15026:2007 Performance hygrothermique des composants et parois de bâtiments. Évaluation du transfert d'humidité par simulation numérique.
- B49 NBN EN 15804+A2:2019 Contribution des ouvrages de construction au développement durable. Déclarations environnementales sur les produits. Règles régissant les catégories de produits de construction.
- B50 NBN EN 15978:2012 Contribution des ouvrages de construction au développement durable. Évaluation de la performance environnementale des bâtiments. Méthode de calcul.
- B51 NBN EN 16002:2019 et NBN EN 16002:2018/AC:2021 Feuilles souples d'étanchéité. Détermination de la résistance à l'arrachement au vent des feuilles souples d'étanchéité de toiture fixées mécaniquement.
- B52 NBN EN ISO 6946:2017 Composants et parois de bâtiments. Résistance thermique et coefficient de transmission thermique. Méthodes de calcul (ISO 6946:2017).
- B53 NBN EN ISO 10456:2008 Matériaux et produits pour le bâtiment. Propriétés hygrothermiques. Valeurs utiles tabulées et procédures pour la détermination des valeurs thermiques déclarées et utiles (ISO 10456:2007).
- B54 NBN EN ISO 13788:2013 Performance hygrothermique des composants et parois de bâtiments. Température superficielle intérieure permettant d'éviter l'humidité superficielle critique et la condensation dans la masse. Méthodes de calcul (ISO 13788:2012).
- B55 NBN EN ISO 13943:2017 Sécurité au feu. Vocabulaire (ISO 13943:2017).
- B56 NBN S 01-400:1977 Acoustique. Critères de l'isolation acoustique.
- B57 NBN S 01-400-1:2008 Critères acoustiques pour les immeubles d'habitation.
- B58 NBN S 01-400-2:2012 Critères acoustiques pour les bâtiments scolaires.

## C

### Caluwaerts F. et De Raed G.

- C1 Cas de pathologies spécifiques aux terrasses en bois. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 2, Cahier 7, 2012.

### Centre scientifique et technique de la construction (CSTC, Bruxelles, [www.cstc.be](http://www.cstc.be))

- C2 Assurer l'étanchéité au droit des toitures plates. Les Dossiers du CSTC, n° 1, Cahier 7, 2012.
- C3 Installations d'évacuation gravitaire des eaux pluviales des bâtiments. Conception et dimensionnement selon la norme NBN EN 12056-3. CSTC-Rapport, n° 21, septembre 2021.
- C4 NIT 196 Les balcons (juin 1995, modifiée par Les Dossiers du CSTC 2011/4.9).
- C5 NIT 223 Les planchers portants des bâtiments résidentiels et tertiaires (mars 2002).
- C6 NIT 229 Les toitures vertes (septembre 2006).
- C7 NIT 236 Conception et exécution des dalles mixtes acier-béton (septembre 2009)
- C8 NIT 239 Fixation mécanique des isolants et étanchéités sur tôles d'acier profilées (novembre 2010).
- C9 NIT 240 Toitures en tuiles (février 2011).
- C10 NIT 244 Les ouvrages de raccord des toitures plates : principes généraux (février 2021).
- C11 NIT 251 L'isolation thermique des toitures à versants (août 2014).
- C12 NIT 253 Les toitures-parkings. 1<sup>re</sup> partie : sollicitations, principes de conception et composition (décembre 2014).
- C13 NIT 255 L'étanchéité à l'air des bâtiments (novembre 2015).
- C14 NIT 256 Conception et mise en œuvre de bâtiments industriels conformes aux exigences de sécurité contre l'incendie (mars 2016).
- C15 NIT 266 Couvertures et bardages métalliques à joints debout et à tasseaux (juillet 2018).
- C16 NIT 269 Revêtements de sol en bois : planchers, parquets et revêtements de sol à placage. Partie 1 : matériaux, terminologie et exigences (juin 2019).
- C17 NIT 270 Installations d'évacuation gravitaire des eaux pluviales des bâtiments. Conception et dimensionnement (août 2019).
- C18 NIT 276 Guide de bonne pratique pour l'exécution des terrasses et entrées de garage sur terre-plein (mai 2021).
- C19 NIT 277 Les sols industriels à base de résine réactive (juin 2021).
- C20 Acoustique des bâtiments résidentiels (NIT à paraître).
- C21 Utilisation de l'eau de pluie. Les Dossiers du CSTC, n° 1, Cahier 3, 2014.

Charron S., Martin Y. et Lassoie L.

C22 Les panneaux de bois et leurs applications. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 2, Cahier 20, 2015.

Commission européenne (<http://eur-lex.europa.eu>)

C23 Décision 2000/553/CE de la Commission du 6 septembre 2000 relative à la mise en œuvre de la directive 89/106/CEE du Conseil en ce qui concerne la performance des couvertures de toiture exposées à un incendie extérieur. Bruxelles, Journal officiel des Communautés européennes, n° L 235/19, 19 septembre 2000.

Caluwaerts F., Mahieu E. et Charron S.

C24 Dégradation du contreplaqué appliqué en toiture. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 4, Cahier 7, 2016.

## D

De Cuyper K., Dinne K. et Van De Vel L.

D1 Toitures vertes : évacuation des eaux pluviales. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 3, Cahier 2, 2006.

## E

Eeckhout S. et Martin Y.

E1 Sécurité incendie des bâtiments industriels : annexe 6 de l'arrêté royal 'Normes de prévention de base'. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 4, Cahier 4, 2011.

European Organisation for Technical Assessment (EOTA, Bruxelles, [www.eota.eu](http://www.eota.eu))

E2 EAD 030351-00-0402 Systems of Mechanically Fastened Flexible Roof Waterproofing Sheets (anciennement ETAG 006). European Assessment Document, février 2019.

E3 EAD 030350-00-0402 Liquid Applied Roof Waterproofing Kits (anciennement ETAG 005). European Assessment Document, août 2018.

E4 ETAG 031 Inverted Roofs Insulation Kits. Part 1 : General. Part 2 : Insulation with protective Finish. Guide d'agrément technique européen, n° 031, décembre 2010.

E5 ETAG 033 Kits d'étanchéité de tabliers de pont par application liquide. Guide d'agrément technique européen, n° 033, juillet 2010.

## H

Hendriks N.A. et van den Hout A. F.

H1 Handboek Daken (deel A6130 'Witte dakbedekking'). Amsterdam, ten Hagen Stam Uitgevers, 1996.

## I

Ingelaere B.

I1 Isolation acoustique des toitures à versants. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 2, Cahier 5, 2010.

# J

## Janssen A.

J1 Impact environnemental des toitures plates. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 3, Cahier 6, 2013.

## Janssen A., Delem L., Wastiels L. et Van Dessel J.

J2 Principes et aspects importants pour le choix de matériaux de construction durables. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Rapport CSTC, n° 17, 2016.

## Janssen A. et Mahieu E.

J3 Impact environnemental des toitures plates. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 2, Cahier 19, 2015.

## Janssen A., Wastiels L. et Delem L.

J4 Analyse du cycle de vie ou LCA. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Infofiche, n° 64, juin 2013.

# K

## Kiwa Nederland (Rijswijk, <https://www.kiwa.com>)

K1 BRL 1511 Deel 1 Algemene bepalingen (2012). Deel 2 Specifieke bepalingen voor gewapende dakbanen o.b.v. (gemodificeerd) bitumen (2012). Deel 3 Specifieke bepalingen voor dakbanen o.b.v. kunststof/bitumen compounds (2012). Deel 4 Specifieke bepalingen voor kunststof en rubber dakbanen (2013).

# L

## Lejeune G. et Van Den Bossche T.

L1 La réalisation des terrasses en bois. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, CSTC-Magazine, n° 3, septembre 1994.

# M

## Mahieu E.

M1 Condensation interne. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Infofiche, n° 27, novembre 2007.

M2 Condensation inversée. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Infofiche, n° 28, novembre 2007.

M3 Détection des infiltrations dans les toitures plates. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 4, Cahier 6, 2016.

M4 Étanchéités liquides sur toitures chaudes. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 2, Cahier 6, 2013.

M5 Isolation thermique des toitures plates existantes. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Infofiche, n° 26, novembre 2007.

M6 Peut-on réaliser des toitures à rétention d'eau sans pente ? Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 6, Cahier 4, 2019.

M7 Problèmes d'humidité dus à la condensation inversée dans les toitures plates chaudes. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 2, Cahier 5, 2017.

M8 Spécificités de la pose d'installations de systèmes solaires sur toitures plates. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 4, Cahier 7, 2010.

M9 Toitures plates avec support constitué d'éléments de type TT. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 4, Cahier 5, 2017.

Mahieu E. et Noirfalisie E.

M10 Collage de panneaux isolants en toiture plate à l'aide d'une colle PU. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 2, Cahier 5, 2018.

M11 Formes de pente à base de ciment sur toitures plates. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 2, Cahier 5, 2014.

Mahieu E., Noirfalisie E. et Steskens P.

M12 Les toitures compactes, une nouvelle tendance ? Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 2, Cahier 6, 2012.

Martin Y.

M13 Sécurité incendie des toitures vertes. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 4, Cahier 7, 2011.

Martin Y. et De Proft K.

M14 Sécurité incendie des terrasses en bois sur toitures plates. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 2, Cahier 6, 2017.

Martin Y. et Eeckhout S.

M15 Comportement au feu des toitures plates. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 4, Cahier 6, 2014.

Martin Y., Eeckhout S. et Labrouche J.-F.

M16 Comportement au feu des toitures plates : les ATG pour sortir de l'impasse. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 4, Cahier 3, 2019.

## N

Noirfalisie E.

N1 Simplifions l'étude de l'effet du vent sur les toitures plates. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 4, Cahier 4, 2020.

N2 Stagnation d'eau en toiture plate. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 4, Cahier 7, 2013.

N3 Stockage et pose des membranes d'étanchéité autoadhésives. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 2, Cahier 6, 2010.

N4 Résistance au vent des complexes de toitures plates posés en adhérence. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 2, Cahier 3, 2021.

Noirfalisie E. et Tilmans A.

N5 Révision de la NIT 215 : du neuf pour le pare-vapeur. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 2, Cahier 3, 2019.

Noirfalisie E., Mahieu E. et Mertens S.

N6 Poussée de l'acrotère des toitures plates isolées à l'aide de panneaux PU. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 2, Cahier 4, 2022.

## P

Parmentier B., Zarmati G. et Lassoie L.

P1 Toitures enneigées : pourquoi tant de dégâts ? Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 4, Cahier 2, 2011.

# S

## Service public fédéral Économie, PME, Classes moyennes et Énergie (Bruxelles, <http://economie.fgov.be>)

- S1 STS 08.82 Matériaux d'isolation thermique. Spécifications techniques unifiées, 1997.
- S2 STS 31 Charpenterie. Spécifications techniques unifiées, 2008.
- S3 STS 32 Menuiserie pour toiture. Spécifications techniques unifiées, 1967.

## Service public fédéral Emploi, Travail et Concertation sociale (Bruxelles, <https://emploi.belgique.be>)

- S4 Arrêté royal du 13 juin 2005 relatif à l'utilisation des équipements de protection individuelle. Moniteur belge, 14 juillet 2005.

## Service public fédéral Intérieur (Bruxelles, [www.ibz.be](http://www.ibz.be))

- S5 Arrêté royal du 7 juillet 1994 fixant les normes de base en matière de prévention contre l'incendie et l'explosion, auxquelles les bâtiments nouveaux doivent satisfaire. Moniteur belge du 26 avril 1995 (+ erratum MB 19/3/1996) et ses modifications du 4/4/1996 (MB 20/4/1996), du 18/12/1996 (MB 31/12/1996), du 19/12/1997 (MB 30/12/1997), du 4/4/2003 (MB 5/5/2003), du 13/6/2007 (MB 18/7/2007) + erratum (MB 17/8/2007), du 18/9/2008 (MB 16/10/2008), du 1/3/2009 (MB 15/7/2009) + erratum (MB 4/2/2011) et du 12/7/2012 (MB 21/9/2012) + erratum (MB 10/1/2014) (disponibles sur le site de l'Antenne Normes Prévention du feu [www.normes.be/feu](http://www.normes.be/feu)).

## Service public fédéral Santé publique, Sécurité de la Chaîne alimentaire et Environnement (Bruxelles, <https://www.health.belgium.be>)

- S6 Arrêté royal du 22 mai 2014 fixant les exigences minimales pour les affichages environnementaux sur les produits de construction et pour l'enregistrement des déclarations environnementales de produits dans la base de données fédérale. Moniteur belge, 14 juillet 2014.

## Service public de Wallonie ([www.wallonie.be](http://www.wallonie.be))

- S7 Document de référence pour les pertes par transmission. Annexe VII de l'arrêté du Gouvernement wallon du 10 mai 2012 modifiant, en ce qui concerne la performance énergétique des bâtiments, le code wallon de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, du Patrimoine et de l'Énergie. Bruxelles, Moniteur belge, 22 juin 2012.

## Steenbrugghe H.

- S8 Is een witte of zwarte kleur van het dak relevant? Deel 2: vervuiling en onderhoud van een witte kleur. Amersfoort (NL), Dakenraad, vol. 17, n° 95, 2010/04.
- S9 Is een witte of zwarte kleur van het dak relevant? Deel 3: de thermische balans. Amersfoort (NL), Dakenraad, vol. 17, n° 96, 2010/06.

## Stichting Bouwresearch (SBR)

- S10 Levensduur van bouwproducten. Delft, SBR, 2008.

# U

## Union belge pour l'agrément technique dans la construction (UBATc, Bruxelles, [www.ubatc.be](http://www.ubatc.be))

- U1 Systèmes de résines liquides utilisées comme étanchéité des ponts et autres surfaces en béton circulables par les véhicules. Guide d'agrément, n° G0003, 2013.
- U2 L'action du vent sur les toitures plates conformément à la norme sur l'action du vent NBN EN 1991-1-4. Feuillelet d'information, n° 2, 2012.
- U3 Note UBATc 2010 'Aanbevelingen ter beoordeling van de kwaliteit van vloeibaar aangebrachte waterdichtingen voor daken, terrassen en balkons.

## Union européenne (Bruxelles, [www.eur-lex.europa.eu](http://www.eur-lex.europa.eu))

- U4 Règlement (UE) n° 305/2011 du Parlement européen et du Conseil du 9 mars 2011 établissant des conditions harmonisées de commercialisation pour les produits de construction et abrogeant la directive 89/106/CEE du Conseil (RPC). Journal officiel de l'Union européenne, L 88/5, 4 avril 2011.

#### Union européenne pour l'agrément technique dans la construction (UEAtc, Bruxelles, [www.ueatc.eu](http://www.ueatc.eu))

- U5 Guide technique UEAtc pour l'agrément des systèmes d'étanchéité de toiture en EPDM non armés, armés et/ou sous-facés (décembre 2001).
- U6 Guide technique UEAtc pour l'agrément des systèmes d'étanchéité de toiture en feuilles de bitume polymère polypropylène atactique (APP) ou styrène-butadiène-styrène (SBS) armées (décembre 2001).
- U7 Guide technique UEAtc pour l'agrément des systèmes d'étanchéité de toiture en polyoléfines flexibles (FPO) non armés, armés et/ou sous-facés (décembre 2001).
- U8 Guide technique UEAtc pour l'agrément des systèmes d'étanchéité de toiture en PVC non armés, armés et/ou sous-facés (décembre 2001).
- U9 Guide technique UEAtc pour l'agrément des systèmes isolants supports d'étanchéité des toitures plates et inclinées (1993).

## V

#### Vandooren O.

- V1 La fraction "bois" des toitures à versants. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, CSTC-Contact, n° 1, 2006.

#### Vos L.

- V2 Les trop-pleins sur les toitures plates. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 5, Cahier 8, 2019.
- V3 Ouvertures d'évacuation des eaux pluviales. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 2, Cahier 5, 2013.

## W

#### Wagneur M.

- W1 Guide de l'entretien pour des bâtiments durables (chapitre 3 'Toitures'). Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, monographie, n° 16, 2011.

#### Wastiels L.

- W2 Messages environnementaux sur les produits de construction. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 2, Cahier 3, 2015.

#### Wastiels L. et Delem L.

- W3 Détermination des performances environnementales des bâtiments à l'aide de l'outil TOTEM. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 2, Cahier 2, 2018.

#### Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf – Vlaamse Huisvestingsmaatschappij

- W4 ABSW 2003 Algemeen bestek voor de sociale woningbouw. Prestatiebestek. Bruxelles, 3<sup>e</sup> édition, décembre 2003.

## Z

#### Zarmati G.

- Z1 Action du vent sur les toitures plates. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, Les Dossiers du CSTC, n° 2, Cahier 5, 2016.



Editeur responsable : Olivier Vandooren  
CSTC, Rue du Lombard 42  
1000 Bruxelles

Révision linguistique et mise en pages : A. Volant  
Dessins : Q. van Grieken et R. Hermans  
Photos CSTC : M. Sohie et al.





## Recherche • Développe • Informe

Principalement financé par les redevances de quelque 95.000 entreprises belges représentant la quasi-majorité des métiers de la construction, le CSTC incarne depuis plus de 55 ans le centre de référence en matière scientifique et technique, contribuant directement à l'amélioration de la qualité et de la productivité.

### Recherche et innovation

L'introduction de techniques innovantes est vitale pour la survie d'une industrie. Orientées par les professionnels de la construction, entrepreneurs ou experts siégeant au sein des Comités techniques, les activités de recherche sont menées en parfaite symbiose avec les besoins quotidiens du secteur.

Avec l'aide de diverses instances officielles, le CSTC soutient l'innovation au sein des entreprises, en les conseillant dans des domaines en adéquation avec les enjeux actuels.

### Développement, normalisation, certification et agréation

A la demande des acteurs publics ou privés, le CSTC réalise divers développements sous contrat. Collaborant activement aux travaux des instituts de normalisation, tant sur le plan national (NBN) qu'euro-péen (CEN) ou international (ISO), ainsi qu'à ceux d'instances telles que l'Union belge pour l'agrément technique dans la construction (UBAAtc), le Centre est idéalement placé pour identifier les besoins futurs des divers corps de métier et les y préparer au mieux.

### Diffusion du savoir et soutien aux entreprises

Pour mettre le fruit de ses travaux au service de toutes les entreprises du secteur, le CSTC utilise largement l'outil électronique. Son site Internet adapté à la diversité des besoins des professionnels contient les ouvrages publiés par le Centre ainsi que plus de 1.000 normes relatives au secteur.

La formation et l'assistance technique personnalisée contribuent au devoir d'information. Aux côtés de quelque 750 sessions de cours et conférences thématiques impliquant les ingénieurs du CSTC, plus de 18.000 avis sont émis chaque année par la division Avis techniques.

### SIÈGE SOCIAL

Rue du Lombard 42, B-1000 Bruxelles  
Tél. 02/502 66 90  
Fax 02/502 81 80  
E-mail : [info@bbri.be](mailto:info@bbri.be)  
Site Internet : [www.cstc.be](http://www.cstc.be)

### BUREAUX

Lozenberg 7, B-1932 Sint-Stevens-Woluwe  
Tél. 02/716 42 11  
Fax 02/725 32 12

- Avis techniques – Publications
- Gestion – Qualité – Techniques de l'information
- Développement – Valorisation
- Agréments techniques – Normalisation

### STATION EXPÉRIMENTALE

Avenue Pierre Holoffe 21, B-1342 Limelette  
Tél. 02/655 77 11  
Fax 02/653 07 29

- Recherche et innovation
- Formation
- Bibliothèque

### BRUSSELS GREENBIZZ

Rue Dieudonné Lefèvre 17, B-1020 Bruxelles  
Tél. 02/233 81 10



### **Buildwise Zaventem** **Siège social et bureaux**

Kleine Kloosterstraat 23  
B-1932 Zaventem  
Tél. 02/716 42 11

E-mail : [info@buildwise.be](mailto:info@buildwise.be)  
Site Internet : [buildwise.be](http://buildwise.be)

- Avis techniques – Publications
- Gestion – Qualité – Techniques de l'information
- Développement – Valorisation
- Agréments techniques – Normalisation

### **Buildwise Limelette**

Avenue Pierre Holoffe 21  
B-1342 Limelette  
Tél. 02/655 77 11

- Recherche et innovation
- Formation
- Bibliothèque

### **Buildwise Brussels**

Rue Dieudonné Lefèvre 17  
B-1020 Bruxelles  
Tél. 02/233 81 00

Après plus d'un demi-siècle d'existence, le Centre scientifique et technique de la construction (CSTC) fait désormais place à Buildwise. Ce nouveau nom porte en lui une orientation nouvelle, davantage axée sur l'innovation, sur la collaboration et sur une approche pluridisciplinaire plus intégrée. Buildwise étant principalement financé par les redevances de quelque 100.000 entreprises de construction belges, celles-ci contribuent ainsi à motiver son action, notamment en définissant ses priorités et en pilotant ses travaux par le biais des Comités techniques.

## **Votre centre de recherche devient centre d'innovation**

Fort des connaissances qu'il a acquises au fil des années, Buildwise s'est imposé comme le centre de référence et d'expertise du secteur de la construction. Buildwise se tient aux côtés de tous les acteurs impliqués dans l'acte de bâtir. Notre objectif ? Transmettre des connaissances qui améliorent réellement la qualité, la productivité et la durabilité, et ouvrir la voie à l'innovation sur chantier et dans l'entreprise.

## **Dynamiser le partage des connaissances et les interconnexions**

Compte tenu de la grande complexité et de la forte fragmentation du processus de construction, Buildwise se doit de renforcer son rôle fédérateur. Nous ne pourrions relever les défis sectoriels et sociétaux qu'en mobilisant le secteur tout entier et en repensant nos modèles d'entreprise et notre façon de collaborer.

## **De la multidisciplinarité à la transdisciplinarité**

Notre spécificité tient à notre approche pragmatique et multidisciplinaire. Pour trouver des solutions solides, il faut une stratégie globale et intégrée. C'est pourquoi nos ambitions s'articulent autour de trois piliers : les technologies numériques, la durabilité et le métier (représenté par les entrepreneurs au sein des Comités techniques).