

CSTC

UNE ÉDITION DU CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION



NOTE D'INFORMATION
TECHNIQUE **215**

LA TOITURE PLATE : COMPOSITION - MATÉRIAUX - RÉALISATION - ENTRETIEN

(REMPLECE LES NIT 151 ET 183)

LA TOITURE PLATE : COMPOSITION - MATÉRIAUX - RÉALISATION - ENTRETIEN

(REPLACE LES NIT 151 ET 183)

Le texte de la présente Note d'information technique a été élaboré à l'initiative du Comité technique *Etanchéité*, par des groupes de travail composés de membres du même Comité ainsi que par la guidance technologique *Enveloppe du bâtiment*, subsidiée par les Régions.

Composition du CT *Etanchéité*

Président : F. Louwers, Lumco NV

Membres : E. Brill, ATAB NV

L. Busschaert, Ministère des Communications et de l'Infrastructure (DAS)

M. Buvé, Imperbel SA

J.P. Casier, DMT

M. Clynhens, Pittsburgh Corning Europe SA

T. De Jonghe, Benelux Bitume

P. Dekkers, Dekkers Asphaltonderneming NV

C. Hamans, Rockwool SA

P. Kerstenne, Tortolani SA

B. Marynissen, SECO

E. Moerman, Albitum NV

L. Neirinckx, Styfabel ASBL

D. Nonckreman, Asphaltco SA

M. Peeters, Gent Asphalt NV

J. Schoofs, ATAB NV

H. Steenbrugghe, Rubitec SA, VESP

G. Timmermans, C.I.R. ASBL Conseil d'isolation

D. Van Damme, Alkor Draka SA

J. Van Zele, Recticel NV

J. Wauman, ABEE ASBL

Animateur: E. Meert, CSTC

Ont également prêté leur concours à cette publication : J. Coumans (Albitum NV), G. De Baer (Isoall NV), H. Hens (KUL), A. Janssens (UG), D. Raymaekers (CSTC), P. Spehl (SECO), P. Standaert (Physibel c.v.), A. Van Buynder (De Boer & Cie SA), M. Van Den Bergh (SECO), B. Vandermarcke (Département Architecture - Sint-Lucas Gand / Bruxelles), P. Vitse (CSTC).

Le texte a été soumis aux Comités techniques *Gros œuvre*, *Hygrothermie* et *Plomberie sanitaire et industrielle*, *installations de gaz et couvertures métalliques*.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION

CSTC, établissement reconnu en application de l'arrêté-loi du 30 janvier 1947

Siège social : rue de la Violette 21-23 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.



1	INTRODUCTION		
	1.1	Généralités	4
	1.2	Fonctions et composition de la toiture	5
2	DONNÉES CLIMATIQUES - COMPORTEMENT AU FEU - ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX		
	2.1	Données climatiques	6
	2.2	Comportement au feu	14
	2.3	Aspects environnementaux	16
3	COMPOSITIONS DE TOITURE		
	3.1	Toiture chaude	17
	3.2	Toiture inversée	18
	3.3	Compositions de toiture à déconseiller	19
	3.3.1	Toiture froide	19
	3.3.2	Isolation sous le plancher	19
	3.3.3	Béton de pente sur l'isolation	19
4	LE PLANCHER DE TOITURE		
	4.1	Types	21
	4.2	Recommandations	21
	4.2.1	Propriétés	21
	4.2.2	Types de plancher de toiture et leurs propriétés	23
	4.3	Examen du plancher	25
5	LA PENTE		
	5.1	Généralités	26
	5.2	Techniques de réalisation	26
	5.2.1	Réalisation du plancher de toiture en pente	26
	5.2.2	Éléments préfabriqués en pente	26
	5.2.3	Pose d'une forme de pente	27
	5.2.4	Utilisation d'une isolation à pente intégrée ou de granulats à base de bitume	27
	5.2.5	Combinaison d'une isolation à pente intégrée/de granulats liés à du bitume et d'une forme de pente	27
6	L'ÉCRAN PARE-VAPEUR		
	6.1	Fonction	29
	6.2	Choix	29
	6.2.1	Classes de climat intérieur	29
	6.2.2	Caractéristiques physiques des matériaux	31
	6.2.3	Qualité du pare-vapeur	32
	6.3	Pose	34
7	L'ISOLATION DE TOITURE		
	7.1	Caractéristiques des matériaux d'isolation de toiture	36
	7.2	Panneaux d'isolation de toiture	40
	7.2.1	Mousses synthétiques	40
	7.2.2	Matériaux d'origine minérale	41

7.2.3	Autres matériaux d'isolation	41
7.2.4	Matériaux d'isolation disposant d'un agrément technique	42
7.3	Pose de l'isolation	42
7.3.1	Collage au bitume chaud	43
7.3.2	Pose à la colle bitumineuse à froid	44
7.3.3	Pose à la colle synthétique à froid	44
7.3.4	Fixation mécanique	44
7.3.5	Pose de l'isolation en indépendance	45

8 L'ÉTANCHÉITÉ DE TOITURE

8.1	Généralités	48
8.1.1	Types d'étanchéités	48
8.1.2	Premier critère de conception : l'étanchéité à l'eau	48
8.1.3	Autres critères de conception	49
8.2	Etanchéités de toiture bitumineuses	50
8.2.1	Sous-couches, couches intermédiaires et couches finales	50
8.2.2	Méthodes de pose	53
8.2.3	Choix du système d'étanchéité en fonction du support	57
8.2.4	Exécution	57
8.3	Etanchéités de toiture synthétiques	64
8.3.1	Introduction	64
8.3.2	Elastomères	66
8.3.3	Elastomères thermoplastiques - TPE	69
8.3.4	Plastomères (thermoplastiques)	69
8.3.5	Agréments techniques	73
8.3.6	Mise en œuvre des étanchéités synthétiques	73
8.4	Etanchéités mises en œuvre à l'état liquide	77
8.5	Contrôle de l'étanchéité à l'eau des revêtements	77

9 COUCHE DE PROTECTION

9.1	Couche de protection légère	79
9.2	Couche de protection lourde	79
9.3	Résistance au vent des toitures chaudes avec couche de protection lourde	80

10 RÉNOVATION

10.1	Etanchéité bitumineuse	83
10.2	Etanchéité synthétique	83

11 ENTRETIEN/ACCESSIBILITÉ

ANNEXE 1 Exigences de qualité pour les étanchéités de toiture à base de bitume polymère 85

ANNEXE 2 Action du vent sur les toitures plates

ANNEXE 3 Méthode de calcul et critères d'évaluation de la condensation interne 95

LISTE DES ABRÉVIATIONS UTILISÉES 96

BIBLIOGRAPHIE 98



1 INTRODUCTION

1.1 GÉNÉRALITÉS

Le CSTC a publié en mars 1992 la NIT 183 "La toiture plate".

Le succès remporté par ce document a poussé le CT *Étanchéité* à l'actualiser et à le compléter. La présente Note d'information technique, qui remplace les NIT 151 et 183, est le fruit de ces travaux.

Une *toiture plate* est une toiture rendue étanche par la pose d'une étanchéité en matériaux souples (les matériaux métalliques ne sont pas abordés ici) à recouvrements étanches à l'eau. La toiture ne doit donc pas être horizontale et peut présenter une forte pente.

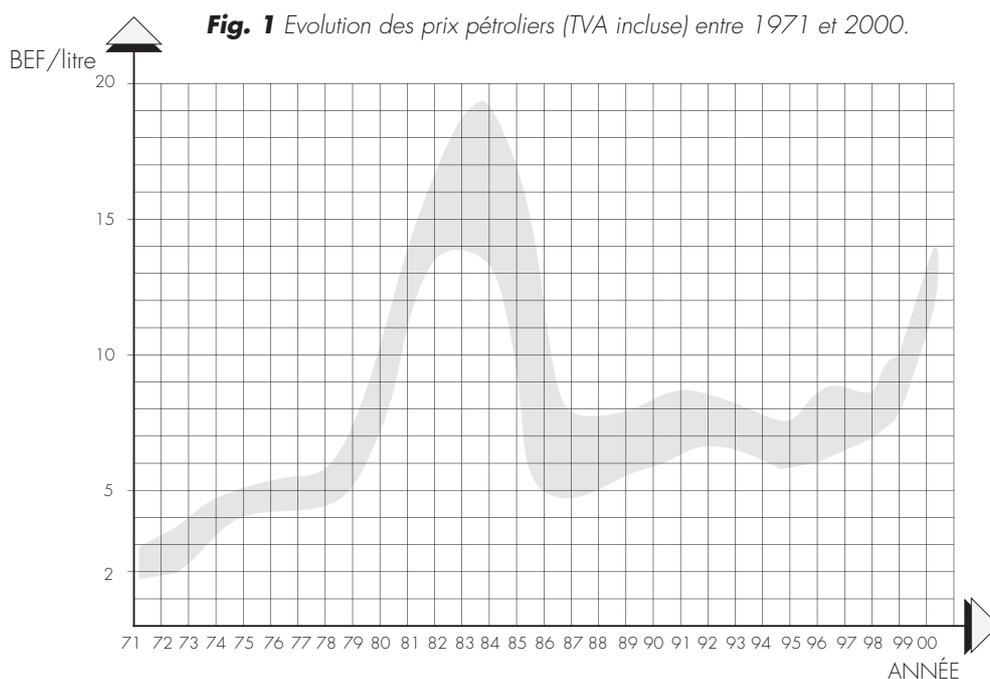
L'étanchéité à la pluie d'une *toiture inclinée* est quant à elle assurée à l'aide d'une couverture composée de matériaux rigides (tuiles, ardoises, etc.) posés avec recouvrements.

Depuis les années 60, on observe une utilisation croissante d'éléments préfabriqués. De surcroît, la tendance à isoler s'est largement accrue depuis 1975 (*), initialement en grande partie en raison de l'évolution des prix pétroliers (cf. figure 1), à laquelle se sont ajoutées ensuite des considérations écologiques et de confort.

L'accroissement de la valeur d'isolation et la nature plus légère (plus souple) des constructions ont intensifié les interactions entre les différents éléments de la toiture. Ces différents aspects ont entraîné des sollicitations hygrothermiques accrues, notamment au niveau de l'étanchéité de toiture. 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 la toiture.

Depuis le début des années 80, on s'est fait une idée plus précise des sollicitations auxquelles sont exposées les toitures et l'on dispose désormais de nouveaux matériaux plus adaptés, qui permettent d'apporter une solution économique aux problèmes précédemment évoqués. Les expériences recueillies avec ces nouveaux matériaux sont du reste très positives.

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 ensemble, le présent document n'aborde pas seulement l'étanchéité proprement dite, mais l'ensem-



(*) Le terme isolation est toujours utilisé, dans le présent texte, dans le sens d'isolation thermique.

ble de la composition de toiture, c.-à-d. le plancher de toiture, la pente, l'écran pare-vapeur, l'isolation, l'étanchéité et la couche de protection.

Nous décrivons ici les compositions de toiture les plus fréquentes, ce qui signifie en d'autres termes que d'autres solutions sont également possibles. Diverses applications spéciales comme les balcons [10], les toitures vertes [38, 39] et les toitures-parings sortent quant à elles du cadre de la présente publication.

En ce qui concerne l'exécution des détails, comme les rives de toiture, les joints de dilatation, les gouttières et les évacuations d'eau, nous renvoyons à la NIT 191 *La toiture plate. 2^e partie : Exécution des ouvrages de raccord* [9].

1.2 FONCTIONS ET COMPOSITION DE LA TOITURE

L'étanchéité à l'eau d'une toiture plate est assurée par une couche étanche, dite *étanchéité de toiture* (traitée au chapitre 8). Cette couche remplit rarement la fonction d'élément porteur, celle-ci étant généralement assurée par le *plancher de toiture* (chapitre 4). L'étanchéité est imperméable au vent, mais doit être fixée au plancher de toiture ou être lestée pour ne pas être emportée par le vent. La *pente* prévue sert, quant à elle, à assurer une évacuation rapide de l'eau (chapitre 5).

L'*isolation thermique* (chapitre 7) à prévoir dans la toiture apporte une protection contre la chaleur et le froid. Afin d'éviter qu'elle ne s'humidifie sous l'effet de la condensation interne (humidité de construction et humidité provenant de l'occupation), il est souvent nécessaire d'installer un *écran d'étanchéité à l'air et à la vapeur* (chapitre 6) directement sous l'isolation.

L'isolation acoustique (contre le bruit de la pluie, de la grêle, du vent) peut être obtenue en combinant judicieusement la masse des couches présentes avec un matériau isolant suffisamment élastique et assurant une absorption acoustique appropriée. Cet aspect n'est pas développé dans le présent document, car il nécessite une étude spécifique du point de vue de la physique du bâtiment.

Il arrive que les différents éléments de la toiture exercent les uns sur les autres une influence inacceptable (incompatibilité mécanique ou chimique). Pour pallier cette situation, il convient de disposer des *couches de désolidarisation* (chapitre 8).

Dans la plupart des cas, une toiture doit également être accessible (entretien, terrasse, ...), ce dont il convient de tenir compte lors du choix de l'isolation et de l'étanchéité (chapitres 7, 8, 9 et 11).

En outre, la toiture doit généralement répondre à certaines exigences en matière de comportement au feu; celui-ci dépend pour l'essentiel des caractéristiques du plancher de toiture, de l'isolation, de l'étanchéité et de la couche de protection (chapitres 7, 8 et 9).

Les exigences essentielles de la directive européenne relative aux produits de construction (DPC) (*) sont abordées dans différents chapitres de la présente NIT (cf. tableau 1).

Tableau 1 Chapitres abordant les exigences de la DPC.

EXIGENCE ESSENTIELLE	ABORDÉE DANS LES CHAPITRES
Résistance mécanique et stabilité	3, 4
Sécurité en cas d'incendie	7, 8, 9
Santé, hygiène et environnement	6, 7, 8
Sécurité d'utilisation	6, 7, 8
Protection contre le bruit	non abordée
Conservation de la chaleur	7

(*) La directive européenne relative aux produits de construction (Directive 89/106/CEE du 21 décembre 1988, modifiée par la Directive 93/68/CEE du 22 juillet 1993) est officiellement entrée en vigueur en Belgique à la suite de la publication de l'AR du 19 août 1998 (MB du 11 septembre 1998).



2 DONNÉES CLIMATIQUES - COMPORTEMENT AU FEU - ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

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 températures.

2.1.1 PRÉCIPITATIONS [40]

Il pleut environ 7 % du temps dans notre pays (lieu de référence : Uccle). Les précipitations annuelles oscillent en moyenne entre 700 mm - 700 ℓ/m^2 (ouest) et 1400 mm - 1400 ℓ/m^2 (est).

Pour déterminer les dimensions des dispositifs d'évacuation d'eau, il importe avant tout de prendre en considération le rapport entre l'intensité et la durée des fortes pluies (cf. figure 2).

Pour les autres directives concernant la conception de l'évacuation des eaux pluviales de la toiture, nous renvoyons à la NIT 191, qui traite plus en détail des gouttières, avaloirs et gargouilles.

EXEMPLE

Le tableau 2 précise la quantité maximale de pluie tombant pendant 10 minutes pour des périodes de retour de 2, 10 et 50 ans.

Tableau 2 Intensité maximale des précipitations et quantité maximale de pluie tombant pendant 10 minutes.

PÉRIODE DE RETOUR (ANNÉES)	INTENSITÉ DE LA PLUIE		QUANTITÉ DE PLUIE EN 10 min. (ℓ/m^2)
	$\ell/(m^2.h)$	$\ell/(m^2.min.)$	
2	52	0,87	8,7
10	80	1,34	13,4
50	107	1,78	17,8

2.1.2 VENT

Les vitesses maximales annuelles du vent et les pressions dynamiques de base correspondantes fluctuent fortement d'année en année (cf. figure 3). On dispose de données complètes depuis 1949.

Sur une toiture plate (horizontale), le vent exerce des efforts de succion dont l'importance dépend principalement de la localisation du bâtiment (littoral, ville, ...), de sa hauteur et de la surpression qui règne à l'intérieur des locaux (et qui est liée au fait que le plancher de toiture est étanche à l'air ou non). La force du vent exercée sur la toiture n'est pas la même en tous points en raison des tourbillons; elle est plus élevée au droit des rives et maximale au niveau des angles.

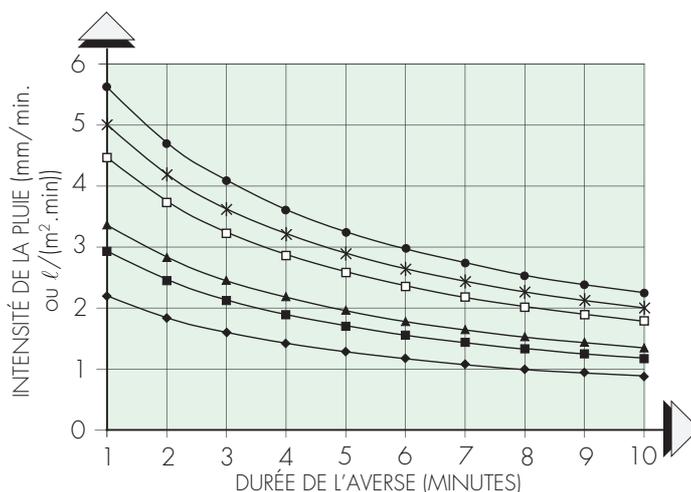
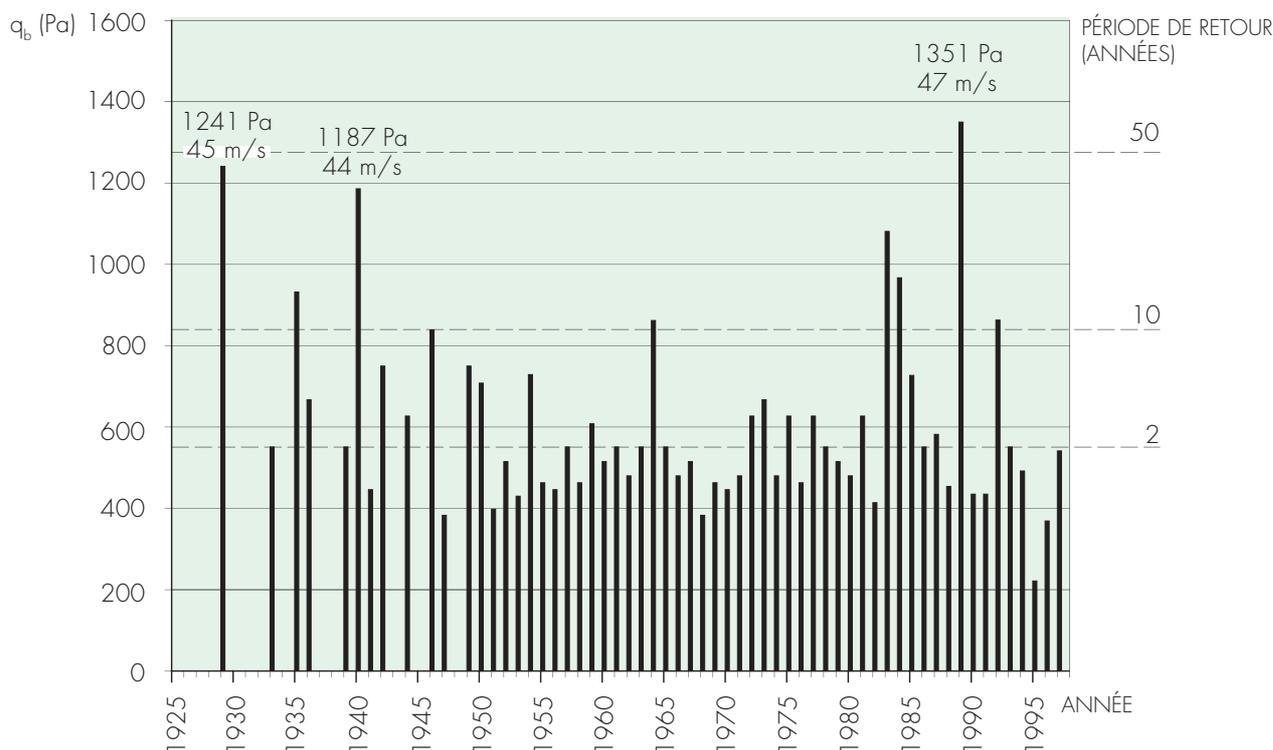


Fig. 2 Rapport entre l'intensité maximale et la durée des précipitations à Uccle pour différentes périodes de retour T .

- $T = 200$ ans
- * $T = 150$ ans
- $T = 50$ ans
- ▲ $T = 10$ ans
- $T = 5$ ans
- ◆ $T = 2$ ans

Fig. 3 Pressions dynamiques de base du vent q_b maximales mesurées à Uccle jusqu'en 1985 et à Beauvechain à partir de 1986 (1995 = de juillet 1995 à juin 1996 compris) (1 Pa = 1 N/m²).



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 :

- ◆ définir les dépressions du vent dans les zones courantes, de rive et de coin (§ 2.1.2.1)
- ◆ déterminer les dimensions des zones de rive et de coin (§ 2.1.2.2, p. 8)
- ◆ contrôler si la résistance du complexe toiture choisi est suffisante, c.-à-d. supérieure ou égale aux forces calculées (§ 2.1.2.3, p.10).

Si l'entrepreneur détermine lui-même la composition de la toiture (p. ex. en cas de rénovation de la toiture), il précise la manière dont la solution choisie permettra de résister à l'action du vent.

L'étude du comportement au vent est réalisée conformément à la norme NBN B 03-002 [19] (*). Nous avons repris ci-après (toitures plates rectangulaires) et dans l'Annexe 2 (p. 87) quelques principes de base de cette norme et nous y décrivons quelques cas fréquents.

2.1.2.1 DÉTERMINATION DES ACTIONS DU VENT SUR LES TOITURES CHAUDES (**)

Le tableau 3 présente les dépressions de vent prévisibles sur des toitures chaudes. Les valeurs s'enten-

dent pour une période de retour de 65 ans et une surface sollicitée ≤ 1 m² dans les zones de coin et de rive et les parties courantes de bâtiments situés en terrain plat (§ 2.1.2.2). La norme concernant le vent donne des valeurs de pression pour une période de retour de 10 ans. Dans le cas des toitures, on considère une période de retour de 65 ans. La norme indique comment calculer les valeurs de pression pour toutes les périodes de retour; on en déduit qu'une période de retour de 65 ans correspond à des pressions 30 % plus élevées que pour une période de retour de 10 ans. La surface sollicitée est limitée à 1 m² en raison de la souplesse des matériaux d'étanchéité.

Le tableau est scindé en cinq parties :

- ◆ toiture avec plancher perméable à l'air :
 - ① bâtiment avec façades perméables à l'air
 - ② bâtiment avec façades imperméables à l'air
- ◆ toiture avec plancher imperméable à l'air et rives imperméables à l'air (Annexe 2 - § 1.5.6, p. 91) :
 - ③ pas de compartimentage entre les zones de toiture (coins, rives et partie courante), comme mentionné au § 2.1.2.2
 - ④ compartimentage entre les zones de toiture (§ 6.1 - figure 32, p. 29)
 - ⑤ cas où aucun mouvement d'air n'est possible entre le plancher de toiture et l'étanchéité.

(*) Dans l'attente d'une norme européenne en la matière (prévue pour 2002), la norme belge reste d'application.

(**) Pour les toitures inversées, cf. bibliographie n° 3.

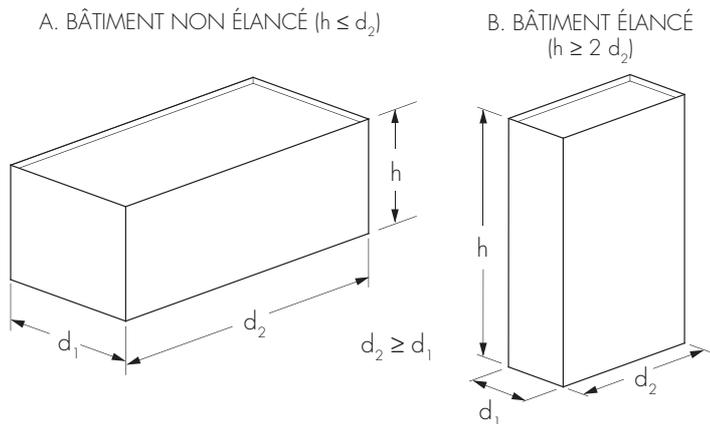
Un plancher de toiture est perméable à l'air lorsqu'il comprend éventuellement des joints, comme dans le cas des tôles profilées en acier, des planchers en bois et des éléments en béton sans couche de compression. La (sur)pression régnant dans le bâtiment engendre alors une sollicitation supplémentaire, ainsi que le montre le tableau 3.

Par plancher de toiture et relevés étanches à l'air, on entend un plancher sans joints ouverts, pas même aux rives de toiture ni au niveau des pénétrations, telles les évacuations d'eaux pluviales. Le plancher de toiture composé d'éléments préfabriqués peut être rendu (davantage) imperméable à l'air en fermant les joints entre les éléments du plancher, d'une part, et entre ces éléments et les rives de toiture, d'autre part, à l'aide par exemple d'un lé imperméable à l'air. Cette procédure permet du reste d'éviter un égouttement éventuel de bitume chaud à travers les joints.

On parle de façades perméables à l'air dans le cas de bâtiments sans cloisons intérieures présentant (ou susceptibles de présenter) des ouvertures dans une seule façade, ou dans le cas de bâtiments dont les portes, les fenêtres et les ouvertures de ventilation, situées dans une même façade, s'ouvrent par vent violent ou restent ouvertes, engendrant une surpression ou une dépression importante dans le bâtiment. Pour les bâtiments industriels, on suppose que les façades sont perméables à l'air.

Les façades peuvent être considérées comme "impermeables" lorsqu'il s'agit de bâtiments avec cloisons et planchers intérieurs ainsi que dans le cas de bâtiments sans cloisons ni planchers intérieurs, mais dont les façades présentent une perméabilité à l'air uniforme.

Fig. 4 Action du vent - élancement des bâtiments à toiture plate.



Le cas 5 (absence de mouvements d'air) correspond aux situations où il n'y a "pas" d'air emprisonné dans le complexe toiture, par exemple en présence d'une étanchéité en adhérence totale sur du verre cellulaire posé à plein bain de bitume ou sur des panneaux d'isolation enveloppés de mortier isolant.

Avant de consulter le tableau 3, on vérifie, à la figure 4, si le bâtiment est élancé ou non. Pour les valeurs intermédiaires, on procède à une interpolation linéaire.

2.1.2.2 DÉTERMINATION DES ZONES DE COIN ET DE RIVE

Les zones de coin et de rive sont soumises à des sollicitations plus importantes que la partie courante. Elles sont définies sur la base de la figure 5 et du tableau 4 (p. 10).

Le tableau 5 (p. 10) montre comment les zones de coin et de rive sont influencées par la hauteur, la longueur et la largeur du bâtiment.

Fig. 5 Zones de coin et zones de rive.

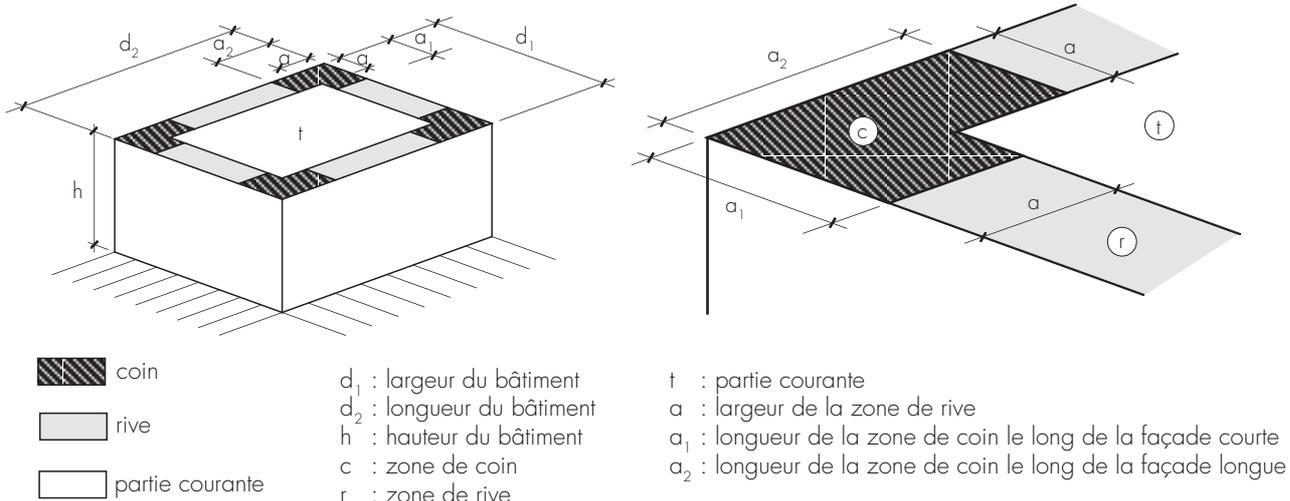


Tableau 3 Action du vent (Pa) sur une toiture plate - période de retour de 65 ans (ce tableau s'applique à des bâtiments édifiés sur terrain plat, sans bâtiments élevés à proximité, pour des surfaces sollicitées de 1 m² et des pentes de toiture inférieures ou égales à 10°, c.-à-d. à 18 %).

LOCALISATION		HAUTEUR DE TOITURE JUSQU'À (m)																		
		Cas 1																		
ZONE DE TOIT		7,0	9,0	11,5	14,5	18,0	24,0	Cas 2												
TYPE BÂTIMENT		7,0	9,0	11,5	14,5	18,0	24,0	Cas 3												
		7,0	9,0	11,5	14,5	18,0	24,0	Cas 4												
		7,0	9,0	11,5	14,5	18,0	24,0	Cas 5												
		7,0	9,0	11,5	14,5	18,0	24,0	Cas 6												
I Zone côtière (a) II Zone rurale III Zone urbanisée IV Ville	Coin (b)	- 2716 - 2304	- 3003 - 2548	- 3218 - 2730	- 3432 - 2912	- 3647 - 3094	- 3861 - 3276	- 4076 - 3458	- 4290 - 3640	- 4505 - 3822	- 4719 - 4004	- 4934 - 4186	- 5148 - 4368							
	Rive (b)	- 2304 - 1893	- 2548 - 2093	- 2730 - 2243	- 2912 - 2392	- 3094 - 2542	- 3276 - 2691	- 3458 - 2841	- 3640 - 2990	- 3822 - 3140	- 4004 - 3289	- 4186 - 3439	- 4368 - 3588							
	Partie courante	- 1481	- 1638	- 1755	- 1872	- 1989	- 2106	- 2223	- 2340	- 2457	- 2574	- 2691	- 2808							
plancher et façade perméables à l'air	Coin (b)	- 2304 - 1893	- 2548 - 2093	- 2730 - 2243	- 2912 - 2392	- 3094 - 2542	- 3276 - 2691	- 3458 - 2841	- 3640 - 2990	- 3822 - 3140	- 4004 - 3289	- 4186 - 3439	- 4368 - 3588							
	Rive (b)	- 1893 - 1481	- 2093 - 1638	- 2243 - 1755	- 2392 - 1872	- 2542 - 1989	- 2691 - 2106	- 2841 - 2223	- 2990 - 2340	- 3140 - 2457	- 3289 - 2574	- 3439 - 2691	- 3588 - 2808							
	Partie courante	- 1070	- 1183	- 1268	- 1352	- 1437	- 1521	- 1606	- 1690	- 1775	- 1859	- 1944	- 2028							
plancher imperm. à l'air pas de compartim.	Coin (b)	- 1646 - 1234	- 1820 - 1365	- 1950 - 1463	- 2080 - 1560	- 2210 - 1658	- 2340 - 1755	- 2470 - 1853	- 2600 - 1950	- 2730 - 2048	- 2860 - 2145	- 2990 - 2243	- 3120 - 2340							
	Rive (b)	- 1234 - 823	- 1365 - 910	- 1463 - 975	- 1560 - 1040	- 1658 - 1105	- 1755 - 1170	- 1853 - 1235	- 1950 - 1300	- 2048 - 1365	- 2145 - 1430	- 2243 - 1495	- 2340 - 1560							
	Partie courante	- 411	- 455	- 488	- 520	- 553	- 585	- 618	- 650	- 683	- 715	- 748	- 780							
plancher imperm. à l'air compartimentage	Coin (b)	- 1070 - 823	- 1183 - 910	- 1268 - 975	- 1352 - 1040	- 1437 - 1105	- 1521 - 1170	- 1606 - 1235	- 1690 - 1300	- 1775 - 1365	- 1859 - 1430	- 1944 - 1495	- 2028 - 1560							
	Rive (b)	- 823 - 658	- 910 - 728	- 975 - 780	- 1040 - 832	- 1105 - 884	- 1170 - 936	- 1235 - 988	- 1300 - 1040	- 1365 - 1092	- 1430 - 1144	- 1495 - 1196	- 1560 - 1248							
	Partie courante	- 411	- 455	- 488	- 520	- 553	- 585	- 618	- 650	- 683	- 715	- 748	- 780							
plancher imperm. à l'air mouvements d'air exclus	Coin (b)	- 686 - 549	- 758 - 607	- 813 - 650	- 867 - 693	- 921 - 737	- 975 - 780	- 1029 - 823	- 1083 - 867	- 1138 - 910	- 1192 - 953	- 1246 - 997	- 1300 - 1040							
	Rive (b)	- 549 - 411	- 607 - 455	- 650 - 488	- 693 - 520	- 737 - 553	- 780 - 585	- 823 - 618	- 867 - 650	- 910 - 683	- 953 - 715	- 997 - 748	- 1040 - 780							
	Partie courante	- 274	- 303	- 325	- 347	- 368	- 390	- 412	- 433	- 455	- 477	- 498	- 520							

(a) Hauteur au-dessus du niveau de la mer à marée basse.

(b) En complément à la norme NBN B 03-002 [19], signalons qu'il ne faut pas tenir compte des zones de coin et de rive lorsque la toiture n'est pas plus haute que les bâtiments environnants, à condition qu'un quart au moins de la surface située dans un rayon de 1 km autour du bâtiment étudié soit occupé par des bâtiments présentant une hauteur moyenne au moins équivalente (classes de vent III et IV).

Tableau 4 Détermination des dimensions des zones de coin et de rive.

DÉTERMINATION DE α (ZONE DE RIVE)		
on retient la plus grande valeur	Si $h \geq \frac{d_1}{3}$	Si $h < \frac{d_1}{3}$
	0,15 d_1 ou 1 m	0,45 h ou 0,04 d_1 ou 1 m
DÉTERMINATION DE α_1 ET α_2 (ZONE DE COIN)		
Si $d_2 > 1,5 d_1$	$\alpha_1 = \alpha$ $\alpha_2 = 0,5 d_1$	
Si $d_1 < d_2 \leq 1,5 d_1$	$\alpha_1 = 0,5 d_1 (1,5 - \frac{d_2}{d_1}) + \alpha (\frac{d_2}{d_1} - 0,5)$ $\alpha_2 = 0,5 d_1 (\frac{d_2}{d_1} - 0,5) + \alpha (1,5 - \frac{d_2}{d_1})$	

2.1.2.3 RÉSISTANCE AU VENT

Les paragraphes suivants montrent que la stabilité au vent d'une toiture 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 revêtement de l'isolant

- ◆ une fixation mécanique suffisante de l'isolation et/ou de l'étanchéité, ...

Dégâts possibles : détachement des vis ou des plaquettes de répartition, déchirement de l'étanchéité ou désolidarisation de l'isolation, poinçonnement, délaminage ou décollage du pare-

ment du matériau d'isolation

- ◆ 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 par le vent (chapitre 9).

Les agréments techniques (ATG) des isolants et étanchéités de toiture indiquent la résistance utile au vent des systèmes collés et à fixation mécanique. Il s'agit de valeurs de calcul basées sur les résultats d'essais au vent réalisés sur des toitures [41, 49].

La valeur de la résistance utile, déduite de l'essai défini par l'Union européenne pour l'agrément technique dans la construction (UEAtc), comprend, outre un coefficient de sécurité de 1,5, des facteurs de correction tenant compte des dimensions et du nombre de fixations de l'élément testé.

Le coefficient de sécurité de 1,5 se justifie de la manière suivante : dans le cas des fixations mécaniques, une fixation peut présenter une défaillance, augmentant de 50 % la contrainte s'exerçant sur la fixation voisine, tandis qu'en présence d'étanchéités collées, le collage peut être imparfait par endroits. On tient donc aussi compte des imperfections de l'exécution.

Dans le cas des étanchéités collées, la résistance dépend avant tout des produits adhésifs et de la résistance au délaminage des panneaux d'isolation utilisés.

En l'absence de résultats d'essais, on applique, pour les étanchéités bitumineuses, des valeurs de résistance au vent forfaitaires (cf. tableau 6).

Tableau 5 Exemples de zones de coin et de rive (α , α_1 , α_2 - cf. figure 5) ($d_1 \leq d_2$).

LARGEUR d_1 (m)	HAUTEUR h (m)	LONGUEUR d_2 (m)														
		5			10			20			30			50		
		α	α_1	α_2	α	α_1	α_2	α	α_1	α_2	α	α_1	α_2	α	α_1	α_2
5	$\geq 1,7$	1,00	1,75	1,75	1,00	1,00	2,50	1,00	1,00	2,50	1,00	1,00	2,50	1,00	1,00	2,50
10	$\geq 3,4$	-	-	-	1,00	3,25	3,25	1,50	1,50	5,00	1,50	1,50	5,00	1,50	1,50	5,00
20	5	-	-	-	-	-	-	2,25	6,13	6,13	2,25	2,25	10,0	2,25	2,25	10,0
	$\geq 6,7$	-	-	-	-	-	-	3,00	6,50	6,50	3,00	3,00	10,0	3,00	3,00	10,0
30	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,25	8,63	8,63	2,25	2,25	15,0
	≥ 10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,50	9,75	9,75	4,50	4,50	15,0

FIXATION SUR LE SUPPORT	ADHÉRENCE SUR TOUTE LA SURFACE	ADHÉRENCE PARTIELLE
Au bitume chaud	3000 Pa	2000 Pa (VP 45/30)
Soudage	3000 Pa	2000 Pa (VP 40/15)
Collage (colle à froid)	2500 Pa (*)	–
Fixation mécanique dans des tôles profilées en acier	300 N/fixation	
(*) En cas d'utilisation de colle à froid sur de la laine minérale (MW), la résistance au vent est limitée à 2000 Pa et, sur de la perlite (EPB), à 1500 Pa. Pour les colles bitumineuses à froid, la résistance initiale au vent est limitée.		

Tableau 6
Résistance utile au vent des étanchéités de toiture bitumineuses (coefficient de sécurité de 1,5 compris).

Dans le cas des étanchéités synthétiques, il convient de tenir compte de la valeur de résistance au vent mentionnée dans l'ATG du produit.

Si le support de toiture est un isolant, on vérifiera, dans l'ATG de ce matériau, quelle est sa résistance au vent et on retiendra la valeur la plus basse, c.-à-d. la valeur la plus basse des 2 valeurs suivantes : celle reprise dans l'ATG (pour l'isolant) et celle figurant au tableau 6 (pour l'étanchéité sans ATG).

2.1.2.4 COMPARAISON ENTRE LA RÉSISTANCE AU VENT ET L'ACTION DU VENT

La résistance au vent mentionnée dans les ATG (ou au tableau 6) doit être supérieure à l'action du vent reprise au tableau 3. A défaut, on optera pour une composition de toiture offrant une résistance au vent suffisante.

Pour les ATG délivrés avant le 1^{er} juillet 2000, la résistance utile au vent stipulée doit être multipliée par 1,3 si l'on souhaite établir la comparaison avec les valeurs du tableau 3. Jusqu'au 30 juin 2000 en effet, on utilise des actions du vent correspondant à une période de retour de 10 ans.

2.1.2.5 ACTION DU VENT ET RÉSISTANCE AU VENT : EXEMPLES

Nous partons des données suivantes :

- ◆ bâtiment isolé rectangulaire en zone rurale
- ◆ hauteur du bâtiment : $h = 12$ m
- ◆ bâtiment non élancé
- ◆ plancher de toiture imperméable à l'air, à l'exception des tôles profilées en acier, en supposant par ailleurs que la façade est perméable à l'air.

2.1.2.5.1 CONTRÔLE DE LA RÉSISTANCE UTILE AU VENT D'UNE ÉTANCHÉITÉ DE TOITURE COLLÉE

- ◆ Toiture non compartimentée (figure 32, p. 29)

Il ressort du cas 3 du tableau 3 que la dépression causée par le vent équivaut à :

- dans la partie courante : - 553 Pa
- dans la zone de rive : - 1658 Pa
- dans la zone de coin : - 2210 Pa.

Nous supposons que l'ATG de l'étanchéité collée indique une résistance utile au vent de 2000 Pa (valeur de calcul). La résistance au vent est donc suffisante pour les parties courantes et les zones de rive (- 553 et - 1658 Pa), mais des mesures complémentaires doivent être prises pour la zone de coin (- 2210 Pa), en optant pour une autre solution de toiture ou en prévoyant un lestage complémentaire.

- ◆ Toiture compartimentée (figure 32, p. 29)

Si la toiture est compartimentée en zones de coin, zones de rive et parties courantes, les actions du vent à absorber dans les zones de rive et de coin sont moindres (cas 4 du tableau 3), soit :

- partie courante : - 553 Pa
- zone de rive : - 1105 Pa
- zone de coin : - 1437 Pa.

La résistance au vent de 2000 Pa suffit donc amplement, y compris pour les zones de coin.

2.1.2.5.2 DÉTERMINATION DU NOMBRE DE FIXATIONS MÉCANIQUES REQUIS POUR DES PANNEAUX D'ISOLATION PLACÉS SUR DES TÔLES PROFILÉES EN ACIER PERMÉABLES À L'AIR EN CAS D'ÉTANCHÉITÉ COLLÉE

Considérons des panneaux d'isolation de 0,60 m x 1,20 m (0,72 m²) fixés mécaniquement, présentant une résistance utile au vent de 300 N par vis (valeur

de calcul, selon l'ATG) en cas d'étanchéité collée.

Le cas 1 du tableau 3 montre que l'action du vent équivaut à :

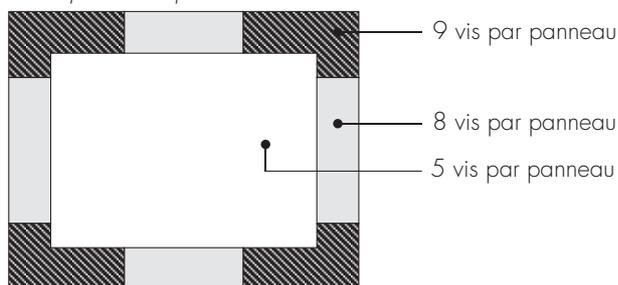
- ◆ partie courante : - 1989 Pa
- ◆ zone de rive : - 3094 Pa
- ◆ zone de coin : - 3647 Pa.

Le nombre de vis par panneau se calcule comme suit :

- ◆ partie courante : $l = 1989 \text{ Pa} \times 0,72 \text{ m}^2$
 $\rightarrow \frac{1432 \text{ N}}{300 \text{ N}} = 4,77 \rightarrow 5 \text{ vis/panneau}$
- ◆ zone de rive : $l = 3094 \text{ Pa} \times 0,72 \text{ m}^2$
 $\rightarrow \frac{2228 \text{ N}}{300 \text{ N}} = 7,42 \rightarrow 8 \text{ vis/panneau}$
- ◆ zone de coin : $l = 3647 \text{ Pa} \times 0,72 \text{ m}^2$
 $\rightarrow \frac{2626 \text{ N}}{300 \text{ N}} = 8,75 \rightarrow 9 \text{ vis/panneau.}$

La pose correcte des vis est abordée au § 7.3.4 (p. 44).

Fig. 6 Fixation mécanique de l'isolation dans le cas fourni par l'exemple.



2.1.2.5.3 DÉTERMINATION DU NOMBRE DE FIXATIONS MÉCANIQUES (VIS DANS LE RECOUVREMENT) POUR UNE ÉTANCHÉITÉ POSÉE SUR DES TÔLES PROFILÉES EN ACIER PERMÉABLES À L'AIR

Considérons une toiture sans pare-vapeur, avec une isolation perméable à l'air et une étanchéité de 0,9 m de largeur utile. La fixation mécanique est assurée par des vis présentant une résistance utile de 300 N (valeur de calcul).

L'espacement entre les vis se calcule comme suit :

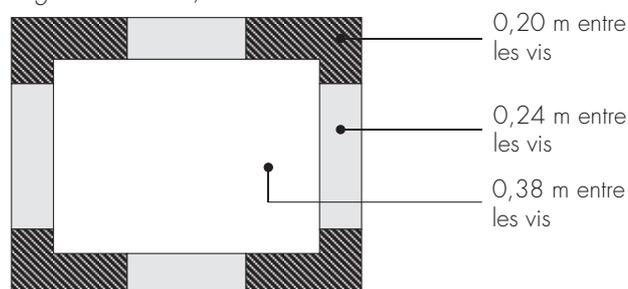
- ◆ partie courante : $l = 1989 \text{ Pa} \times 0,9 \text{ m}$
 $\rightarrow 1790 \text{ N/m} \rightarrow \frac{300 \text{ N}}{1790 \text{ N/m}}$
 $\rightarrow 0,17 \text{ m entre les vis}$
- ◆ zone de rive : $l = 3094 \text{ Pa} \times 0,9 \text{ m}$
 $\rightarrow 2785 \text{ N/m} \rightarrow \frac{300 \text{ N}}{2785 \text{ N/m}}$

- $\rightarrow 0,11 \text{ m entre les vis}$
- ◆ zone de coin : $l = 3647 \text{ Pa} \times 0,9 \text{ m}$
 $\rightarrow 3282 \text{ N/m} \rightarrow \frac{300 \text{ N}}{3282 \text{ N/m}}$
 $\rightarrow 0,09 \text{ m entre les vis.}$

Selon l'ATG, les vis doivent être espacées de minimum 0,2 m et de maximum 0,5 m, ce qui oblige à travailler avec des lés plus étroits (p. ex. : largeur utile = 0,4 m, largeur de lé = 0,5 m). On obtient ainsi les espacements suivants entre les vis :

- ◆ partie courante : $l = 1989 \text{ Pa} \times 0,4 \text{ m}$
 $\rightarrow 796 \text{ N/m} \rightarrow \frac{300 \text{ N}}{796 \text{ N/m}}$
 $\rightarrow 0,38 \text{ m}$
- ◆ zone de rive : $l = 3094 \text{ Pa} \times 0,4 \text{ m}$
 $\rightarrow 1238 \text{ N/m} \rightarrow \frac{300 \text{ N}}{1238 \text{ N/m}}$
 $\rightarrow 0,24 \text{ m}$
- ◆ zone de coin : $l = 3647 \text{ Pa} \times 0,4 \text{ m}$
 $\rightarrow 1459 \text{ N/m} \rightarrow \frac{300 \text{ N}}{1459 \text{ N/m}}$
 $\rightarrow 0,20 \text{ m.}$

Fig. 7 Etanchéité à fixation mécanique (exemple) en cas de largeur de lé de 0,50 m.



2.1.2.5.4 DÉTERMINATION DE LA QUANTITÉ DE LESTAGE SUR UNE ÉTANCHÉITÉ POSÉE EN INDÉPENDANCE

◆ Toiture non compartimentée

La quantité de lestage requise se calcule comme suit :

- partie courante : $l = 553 \text{ Pa} \rightarrow \frac{553 \text{ Pa}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 56 \text{ kg/m}^2 (*)$

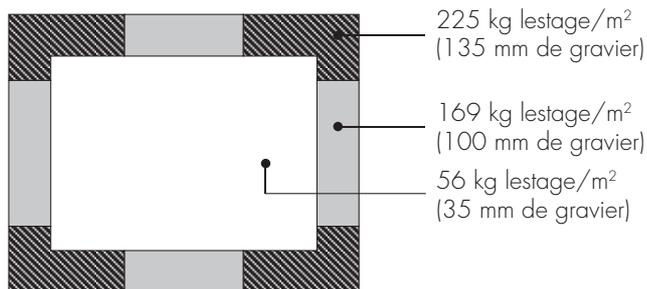
(*) $553 \text{ Pa} = 553 \text{ N/m}^2 = 553 \text{ kg.m/s}^2$. $1 \text{ m}^2 = 553 \text{ kg/m.s}^2$
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2 = \text{accélération due à la pesanteur} (9,81 \text{ N} = 1 \text{ kg})$

$$\frac{553 \text{ Pa}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \frac{553 \text{ kg / m.s}^2}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 56 \text{ kg/m}^2$$

- zone de rive : $|-1658| \text{ Pa} \rightarrow \frac{1658 \text{ Pa}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 169 \text{ kg/m}^2$
- zone de coin : $|-2210| \text{ Pa} \rightarrow \frac{2210 \text{ Pa}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 225 \text{ kg/m}^2$.

Il s'agit de couches de lestage lourdes, qui peuvent être limitées en compartimentant la toiture ou en excluant tout mouvement d'air.

Fig. 8 Quantité de lestage requise (exemple).



◆ *Toiture compartimentée*

En cas de compartimentage (cas 4 du tableau 3), on aboutit aux résultats suivants :

- partie courante : cf. toiture non compartimentée
- zone de rive : $\frac{|-1105| \text{ Pa}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 113 \text{ kg lestage/m}^2$
- zone de coin : $\frac{|-1437| \text{ Pa}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 140 \text{ kg lestage/m}^2$.

Si l'on peut exclure tout mouvement d'air (cas 5 du tableau 3), la quantité requise est la suivante :

- partie courante : $\frac{|-368| \text{ Pa}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 37 \text{ kg lestage/m}^2$
- zone de rive : $\frac{|-737| \text{ Pa}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 75 \text{ kg lestage/m}^2$
- zone de coin : $\frac{|-921| \text{ Pa}}{9,81 \text{ m/s}^2} = 94 \text{ kg lestage/m}^2$.

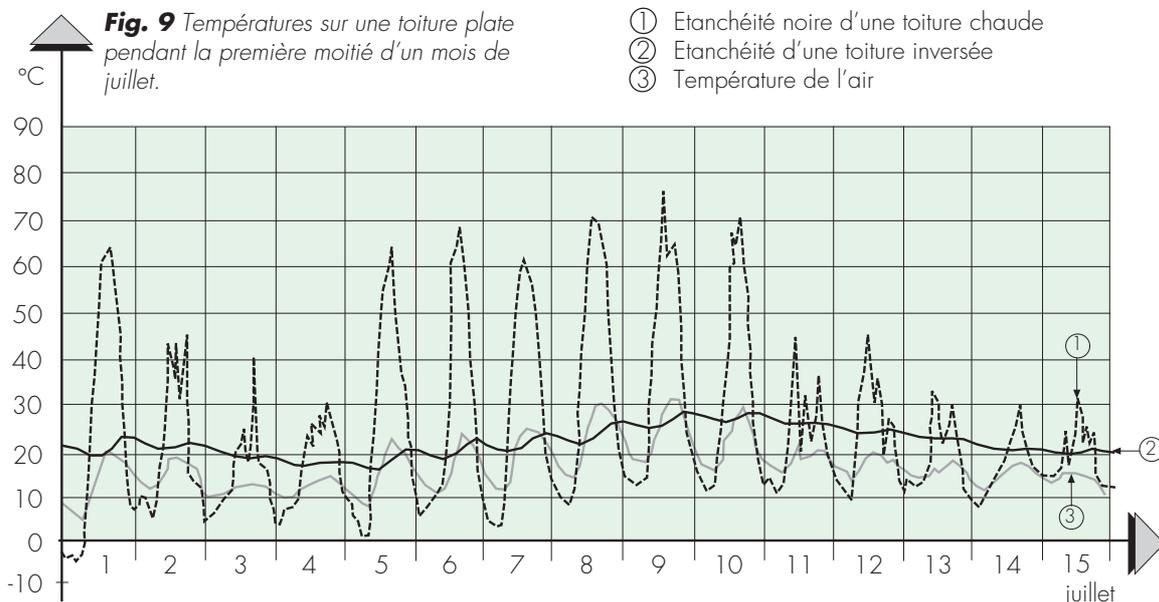
2.1.3 TEMPÉRATURE

La température superficielle des toitures chaudes isolées peut atteindre des valeurs extrêmes en l'absence de vent et de nuages (différentes mesures ont été effectuées à la station expérimentale de Limelette).

En cas d'ensoleillement, cette température superficielle peut, pendant les mois d'été, dépasser 80 °C sur des matériaux d'étanchéité noirs et 70 °C sur des matériaux gris clair. Un lestage de couleur claire à base de gravier limite la température à environ 55 °C. En cas d'averses soudaines, les étanchéités peuvent se refroidir fortement en quelques minutes, avec les chocs thermiques que cela implique.

La nuit, sous l'effet du refroidissement, la température de l'étanchéité peut être inférieure de 12 °C à la température de l'air. On a ainsi relevé une température de - 13,4 °C pour une température de l'air de - 2,7 °C et une température de - 26 °C pour une température de l'air de - 17 °C.

La figure 9 présente, à titre indicatif, l'évolution des températures mesurées pendant la première moitié d'un mois de juillet.



- ① Etanchéité noire d'une toiture chaude
- ② Etanchéité d'une toiture inversée
- ③ Température de l'air

On n'enregistre ces valeurs extrêmes que quelques heures par an. L'écart entre les températures nocturnes et diurnes de l'étanchéité peut atteindre 65 à 70 degrés. Les teintes claires et les matériaux réfléchissants assurent une température de surface plus favorable, pour autant que l'étanchéité ne devienne pas plus sombre ou que l'effet réfléchissant ne disparaisse pas.

Les températures reprises au tableau 9 (p. 17) constituent des valeurs annuelles extrêmes. Une étanchéité disposée sur une isolation subit néanmoins des chocs thermiques importants (orage suivant un ensoleillement).

Les étanchéités à base de bitume oxydé présentent une élasticité moindre et vieillissent dès lors plus vite sous l'effet des chocs thermiques. Le bitume polymère et les matériaux synthétiques, en revanche, résistent convenablement à cette sollicitation accrue (chapitre 8).

2.2 COMPORTEMENT AU FEU

Lors de l'étude du comportement au feu des toitures, il convient de faire une distinction

entre la *résistance au feu* du complexe toiture et la *réaction au feu* des matériaux. Il faut en outre tenir compte du fait que la toiture peut être exposée au feu par un de ses côtés ou par les deux côtés à la fois.

2.2.1 RÉSISTANCE AU FEU (Rf) (VALABLE POUR LA TOTALITÉ DU COMPLEXE TOITURE)

L'annexe 1 des normes de base reprises dans l'Arrêté Royal du 19 décembre 1997 [1] donne la définition suivante :

“Résistance au feu d'un élément de construction (Rf) : temps pendant lequel un élément de construction satisfait simultanément aux critères de stabilité, d'étanchéité aux flammes et d'isolation thermique.”

Pour l'évaluation de la résistance au feu d'éléments de construction, on peut utiliser :

- soit un essai selon la norme NBN 713-20 [26]
- soit une méthode de calcul, agréée par le Ministre de l'Intérieur selon la procédure et les conditions qu'il détermine.

(*) E_i = niveau d'évacuation où une ou plusieurs sorties permettent de gagner l'extérieur (la voie publique ou un espace permettant de l'atteindre). Dans les bâtiments à plusieurs niveaux d'évacuation, E_i est le plus bas niveau.

Pour utiliser cette méthode de calcul, il peut être tenu compte de :

a) *l'examen de scénarios d'incendie naturels*

Tout calcul des effets thermiques d'un incendie dans un bâtiment doit tenir compte des éléments suivants :

- charge calorifique (type, quantité et régime de combustion)
- amenée d'air sur le lieu de l'incendie
- forme géométrique et taille de l'enceinte (définies par le comportement au feu)
- propriétés thermiques de l'enceinte

et, en fonction de la stratégie de sécurité incendie ou de l'approche d'ingénierie adoptée, cet examen peut également s'étendre :

- au rôle des installations d'extinction (par ex. installations de sprinkler)
- au rôle des pompiers ou des équipes de secours, dont l'intervention peut être déclenchée par des installations de détection d'incendie

b) *l'examen de scénarios d'incendie conventionnels.”*

Les valeurs de la résistance au feu à prévoir pour les toitures dépendent de la hauteur “h” du bâtiment.

Pour les bâtiments bas d'une hauteur $h < 10$ m, les normes de base (§ 3.2 de l'Annexe 2) prévoient les dispositions suivantes :

“Les éléments structuraux présentent :

- a) *Rf 1/2 h pour les bâtiments d'un niveau. Cette prescription n'est pas d'application pour la toiture si elle est séparée du reste du bâtiment par un élément de construction Rf 1/2 h*
- b) *pour les bâtiments de plus d'un niveau : Rf 1 h au-dessus du niveau E_i (*). La structure de la toiture présente une stabilité au feu de 1/2 h. Cette prescription n'est pas d'application pour la toiture si elle est séparée du reste du bâtiment par un élément de construction Rf 1/2 h*
- c) *Rf 1 h en dessous du niveau de sol, y compris le plancher du niveau E_i .”*

Pour les bâtiments moyens de $10 \text{ m} \leq h \leq 25 \text{ m}$, l'Annexe 3 des normes de base stipule les prescriptions suivantes :

“Les bâtiments ont des toitures plates ou à versants. Les toitures plates ou à faible pente (angle de pente ne dépassant pas 10°) présentent une stabilité au feu de 1 h. Pour les toitures à versants, le plancher sous toiture présente Rf 1 h (planche IV) et l'accès éventuel à l'espace sous toiture se fait par des portes ou trappes Rf 1/2 h.”

Il peut y avoir des fenêtres dans les toitures à versants, à condition que les parties de ces toitures situées à la hauteur des séparations entre les compartiments répondent aux exigences de l'article 3.3 de la même annexe."

Pour des bâtiments hauts de $h > 25$ m, l'Annexe 4 des normes de base dispose que :

"Les toitures présentent Rf 2 h. De préférence, seules les toitures plates ou à faible pente (angle de pente ne dépassant pas 10°) sont admises.

Pour les toitures à versants, le plancher sous toiture présente Rf 2 h (planche IV) et l'accès éventuel à l'espace sous toiture se fait par des portes ou trappes Rf 1 h."

2.2.2 RÉACTION AU FEU DES ÉLÉMENTS DE TOITURE (valable pour l'étanchéité)

L'Annexe 1 des normes de base [1] définit la réaction au feu d'un matériau de construction comme "l'ensemble des propriétés de ce matériau de construction considérées en relation avec la naissance et le développement d'un incendie."

L'Annexe 5 (§ 8) des normes de base définit, quant à elle, les méthodes d'essai et le classement des matériaux du point de vue de leur réaction au feu et prévoit, pour les toitures, les exigences reprises au tableau 7.

Pour les toitures des bâtiments annexes, les normes de base stipulent en outre :

"Si les façades vitrées d'un bâtiment dominant des constructions, incluses ou non dans ce bâtiment, des avancées de toiture, des auvents, des ouvrages en encorbellement ou d'autres adjonctions, les

matériaux superficiels de la couverture des toitures de ces ouvrages sont de classe A1 sur une distance, à compter du pied de ces façades :

- pour les bâtiments élevés, de 8 m au moins
- pour les bâtiments moyens et les bâtiments bas, de 6 m au moins."

SENS D'ATTAQUE DU FEU

Si le feu provient de l'intérieur, c'est avant tout la résistance au feu du plancher de toiture qui est déterminante. Dans le cas d'une épaisse chape de béton, l'inflammabilité éventuelle des matériaux de toiture n'exerce que peu d'influence, voire aucune, sur l'évolution de l'incendie, sauf au droit des percements de toiture comme les coupoles et les évacuations d'air.

En présence de planchers de toiture en bois et en métal, l'inflammabilité de l'écran pare-vapeur, de l'isolation et de leurs adhésifs joue un rôle important. Il est préconisé, dans ces cas, d'utiliser des matériaux ignifuges (classe de réaction au feu A0 ou A1) pour réaliser la finition du plafond.

Par ailleurs, la présence, sur des planchers de toiture à joints ouverts, de bitume fondu ou d'un isolant fondu peut occasionner une propagation rapide de l'incendie, celui-ci pouvant même gagner les autres bâtiments. De même, la formation de fumée provenant de ces matériaux peut compliquer l'évacuation et la lutte contre l'incendie.

En cas de feu provenant de l'extérieur, une couche de protection lourde (lestage d'une épaisseur minimale de 60 mm) constitue la meilleure solution pour empêcher la propagation de l'incendie. Les autres couches de protection, telles que les feuilles d'aluminium ou les peintures ignifuges, doivent être examinées et testées avec l'étanchéité. La va-

BÂTIMENTS SOUMIS À CERTAINES EXIGENCES			CAS N'ÉTANT SOUMIS À AUCUNE EXIGENCE
TOITURES NON LESTÉES (VOIR ATG)		LESTAGE \geq 60 mm	
Bâtiments bas (plancher supérieur < 10 m)	Bâtiments moyens et hauts (plancher supérieur \geq 10 m)		
prEN ou A1 (*)	A1	conforme	aucune exigence
<p>(*) A1 : exigence fondée sur un essai de réaction au feu (NBN S 21-203 [27]) portant sur une étanchéité (couche finale) posée sur un matériau pierreux (béton, ...). Pour l'évaluation et la classification de la réaction au feu des matériaux des couches finales de l'étanchéité, l'"ISO" et le "CEN" développent des méthodes spécifiques. Les méthodes et la classification prévues dans l'Annexe 5 de l'AR du 19.12.97 seront également appelées à évoluer dans l'avenir.</p> <p>PrEN 1187-1 : exigence fondée sur un essai de résistance au feu portant sur une étanchéité posée sur un support isolant.</p>			

Tableau 7
Réaction au feu des matériaux de la couche de finition de la couverture de toiture selon l'AR du 19.12.1997 [1].

lidité du système est toujours mentionnée dans l'ATG correspondant. Une feuille d'aluminium ou une peinture ignifuge ne mène pas, à elle seule, à une classification selon le prEN 1187-1, ni à une classification A1.

Le comportement au feu des toitures sans couche de protection lourde est déterminé, comme stipulé au tableau 7, soit par la combinaison étanchéité de toiture / isolation (le test spécifique de résistance au feu selon le prEN 1187-1 fournit des informations concernant le comportement du système de toiture), soit par une classification de réaction au feu A1 de la membrane.

Le risque d'incendie pendant l'exécution ne dépend pas seulement de l'inflammabilité des matériaux, mais surtout de la méthode d'exécution (soudage au chalumeau, réchauffement du fondoir). On peut toutefois limiter ce risque en soignant l'exécution et en prenant les précautions qui s'imposent.

Le tableau 8 précise le domaine d'application des différents systèmes d'étanchéité. Ce tableau est repris dans l'ATG concerné.

2.3 ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

Les aspects environnementaux revêtent une importance croissante.

Nous ne disposons toutefois pas actuellement dans notre pays de données concrètes permettant d'exclure ou de privilégier certaines solutions.

Les principaux points dignes d'attention à ce sujet sont les suivants : démolition, récupération, traitement des déchets et possibilités de rénovation. Les règlements régionaux en la matière sont d'application.

Tous les matériaux d'étanchéité abordés dans la suite de ce document offrent une résistance suffisante aux substances chimiques normales présentes dans l'atmosphère (pollution atmosphérique). Dans des circonstances particulières, telles que la proximité d'entreprises chimiques ou du secteur de l'alimentation, il convient de se concerter avec le fabricant pour s'assurer de la compatibilité de l'étanchéité.

Tableau 8 Applicabilité des systèmes d'étanchéité (AR du 19.12.1997).

MEMBRANE D'ÉTANCHÉITÉ AVEC ATG	BÂTIMENTS HAUTS ET MOYENS (PLANCHER SUPÉRIEUR ≥ 10 m (*))	BÂTIMENTS BAS (PLANCHER SUPÉRIEUR < 10 m (*))		BÂTIMENTS N'ÉTANT SOUMIS À AUCUNE EXIGENCE – Maisons unifamiliales – Bâtiments < 100 m ² , max. 2 étages – Bâtiments industriels – Travaux d'entretien
		SUPPORT NON FUSIBLE (BÉTON, TôLES D'ACIER, BOIS, CIMENT DE FIBRES, BÉTON CELLULAIRE, PUR/PIR, PF, MW, EPB, CG)	SUPPORT FUSIBLE (EPS-SE)	
Conforme au prEN 1187-1	conforme uniquement avec couche de protection lourde	conforme	conforme	conforme
Avec classe de réaction au feu A1	conforme	conforme	conforme	conforme
Sans A1 et non conforme au prEN 1187-1	conforme uniquement avec couche de protection lourde	conforme uniquement avec couche de protection lourde	conforme uniquement avec couche de protection lourde	conforme

(*) Les hauteurs et les types de bâtiment sont définis dans l'AR du 19.12.1997. Les étanchéités de toiture des bâtiments ≥ 10 m doivent correspondre à la classe de réaction au feu A1 (NBN S 21-203). Pour les bâtiments < 10 m, l'étanchéité de toiture doit appartenir à la classe de réaction au feu A1 (NBN S 21-203) ou le système d'étanchéité doit satisfaire à l'essai de résistance au feu prévu dans le prEN 1187-1. Pour les bâtiments tels que les maisons unifamiliales, les immeubles présentant au maximum 2 étages et une surface ≤ 100 m², pour les bâtiments industriels ou les travaux d'entretien, aucune classification n'est requise en matière de résistance au feu. Les toitures inversées ou les toitures avec couche de protection lourde (p. ex. gravier ≥ 60 mm, ...) sont censées être conformes aux exigences de l'AR concernant le comportement au feu.



3 COMPOSITIONS DE TOITURE

La présente NIT aborde deux types de composition de toiture, qui se distinguent par l'emplacement de l'isolation par rapport à l'étanchéité et au plancher de toiture, l'isolation pouvant se situer :

- ◆ entre l'étanchéité et le plancher (= toiture chaude) (§ 3.1)
- ◆ sur l'étanchéité (= toiture inversée) (§ 3.2).

Les compositions de toiture déconseillées sont décrites au § 3.3.

3.1 TOITURE CHAUDE

La toiture dite "chaude", solution la plus couramment employée, consiste à poser l'isolation sur le plancher sans prévoir de lame d'air entre les différentes couches. L'étanchéité est posée sur l'isolation, selon les cas avec ou sans couche de désolidarisation, et éventuellement lestée.

Le plancher de toiture doit le plus souvent être revêtu au préalable d'un pare-vapeur (chapitre 6).

Par toiture chaude, on comprend également les toitures constituées d'éléments (en béton cellulaire, par exemple), de panneaux sandwichs, etc., qui combinent les fonctions de plancher et d'isolation, ou encore une forme de pente composée de pan-

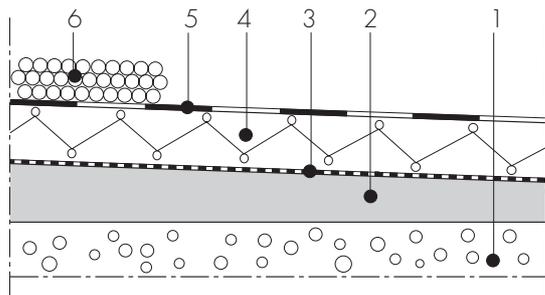
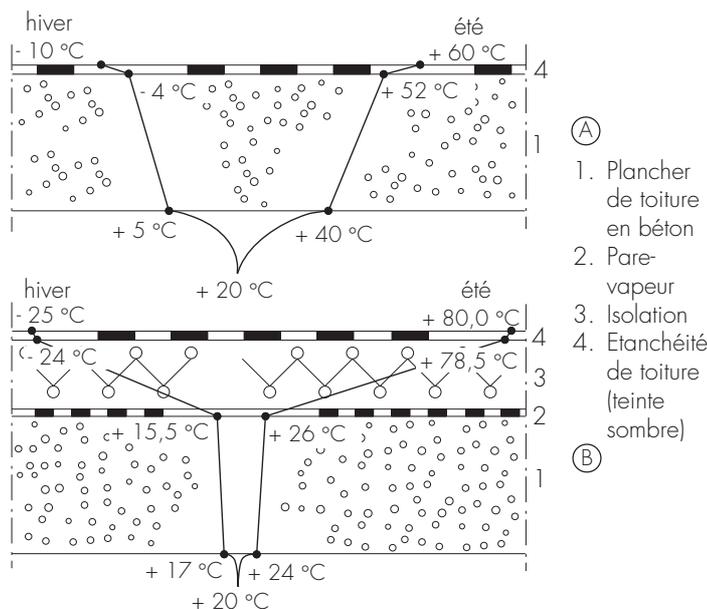


Fig. 10
Toiture chaude.

1. Plancher de toiture
2. Forme de pente (cf. § 5.2)
3. Pare-vapeur éventuel
4. Isolation
5. Etanchéité
6. Lestage éventuel

Fig. 11 Evolution des températures (en régime stationnaire) dans une toiture non isolée (A) et dans une toiture isolée (B) en présence de températures de l'air de -15 °C et +35 °C.



neaux d'isolation remplis de granulats isolants à base de ciment (§ 5.2.5, p. 27).

La figure 11 et le tableau 9 décrivent les différences d'évolution de la température entre une toiture chaude non isolée (150 mm de béton) et une toiture chaude isolée (150 mm de béton et 70 mm d'isolation avec $\lambda = 0,040 \text{ W/(m.K)}$). L'évolution représentée (en régime stationnaire) est plutôt pessimiste, mais permet de formuler des conclusions pratiques.

Dans une toiture chaude, l'isolation protège le plancher des variations de température importantes, limitant ainsi le risque de mouvement et de fissuration dans le plancher de toiture et les murs; sur les toitures non lestées, toutefois, la sollicitation thermique de l'étanchéité est considérable (figure 11).

Tableau 9

Températures des toitures plates (ordre de grandeur, cf. également § 2.1.3, p. 13).

TEMPÉRATURE	TOITURE NON ISOLÉE	TOITURE CHAUDE ISOLÉE	INFLUENCE DE L'ISOLATION
de l'étanchéité	- 10 à + 60 °C	- 25 à + 80 °C	la sollicitation thermique de l'étanchéité augmente fortement
à la surface du plancher de toiture	- 4 à + 52 °C	+ 16 à + 26 °C	les fluctuations de température dans le plancher de toiture diminuent fortement
superficielle de la face interne du plancher	+ 5 à + 40 °C	+ 17 à + 24 °C	confort thermique accru et limitation de la condensation superficielle

3.2 TOITURE INVERSEE [3]

Dans le cas d'une toiture inversée, l'étanchéité est le plus souvent collée/fixée sur le plancher de toiture et l'isolation librement posée sur l'étanchéité.

L'isolation est composée de plaques de polystyrène extrudé (XPS) lestées au moyen de gravier ou de dalles sur plots. Le XPS convient pour ce type d'application en raison de son absorption limitée d'humidité en cas d'exposition directe à l'eau de pluie, sous et entre les plaques.

Le poids du lestage doit être suffisant pour prévenir le soulèvement ou le flottement des panneaux d'isolation (chapitre 9). Le lestage protège en outre les panneaux d'isolation contre les rayons UV. Il convient de réserver une attention particulière aux supports de toiture perméables à l'air et/ou aux étanchéités posées en indépendance, car la dépression du vent est alors beaucoup plus importante.

Il existe aussi des panneaux de polystyrène extrudé recouverts en usine d'une mince couche de mortier, qui remplace la couche de lestage. Ce système est renforcé, conformément aux prescriptions de l'ATG 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 dégelée) entraîne des déperditions calorifiques (cf. ATG) dont il convient de tenir compte lorsqu'on définit l'épaisseur de l'isolation. Il faut en outre s'assurer que la structure de toiture en dessous de l'étanchéité ait une isolation suffisante et/ou une capacité thermique suffisante pour éviter tout phénomène de condensation superficielle.

Plus encore que sur une toiture chaude, la pente de la toiture et des gouttières doit être suffisante (minimum 2 %) pour permettre une évacuation rapide de l'eau et éviter les déperditions de chaleur causées par l'écoulement de l'eau ainsi que les risques de condensation interne.

La toiture inversée ne nécessite pas de pare-vapeur supplémentaire, l'étanchéité sous-jacente remplissant ce rôle. Des problèmes de condensation pouvant survenir dans les locaux appartenant à la classe de climat intérieur IV, le comportement hygrothermique de la toiture doit, dans ce cas, faire l'objet d'une étude distincte.

La technique de la toiture inversée ne peut être appliquée ni aux chambres frigorifiques, ni aux chambres froides, en raison des risques de condensation et de formation de glace sur l'étanchéité, ni

Fig. 12 Toiture inversée.

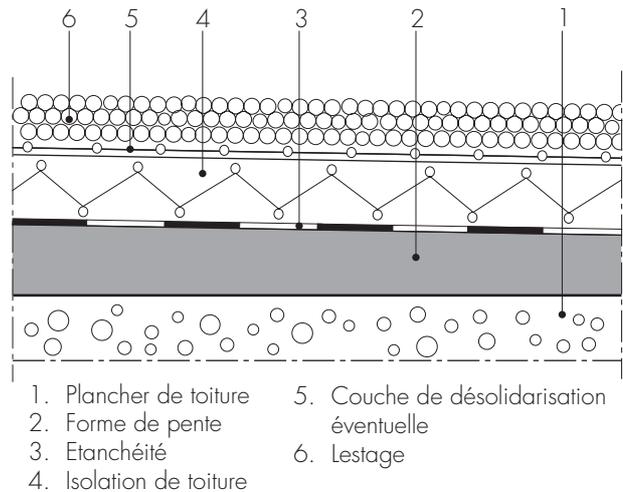
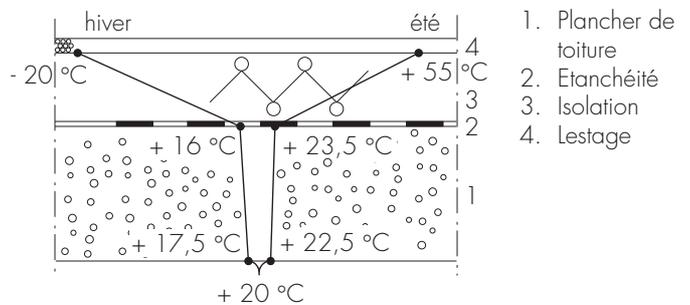


Fig. 13 Evolution de la température (en régime stationnaire) dans une toiture inversée sans infiltration d'eau.



aux bâtiments dont la température intérieure dépasse 30 °C, étant donné le risque de condensation dans l'isolant.

Le plancher et l'étanchéité d'une toiture inversée sont protégés contre les variations de température, les chocs thermiques et les autres influences climatiques (par exemple contre les UV) (*). 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 micro-organismes. De surcroît, les réparations (par ex. la localisation des fuites éventuelles) et les rénovations s'avèrent coûteuses.

On peut limiter les déperditions causées par les infiltrations d'eau en réalisant une toiture dite "duo" qui combine les toitures chaude et inversée : une partie de l'isolation se trouve sous l'étanchéité de toiture et l'autre au-dessus. La toiture "duo" doit faire l'objet d'un contrôle hygrothermique (avec, éventuellement, la pose d'un écran pare-vapeur).

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

3.3 COMPOSITIONS DE TOITURE À DÉCONSEILLER

Certaines toitures jadis régulièrement mises en œuvre présentent une composition physique inadéquate et sont donc déconseillées. Les toitures neuves réalisées en respectant les principes décrits ci-après seront considérées comme des compositions incorrectes.

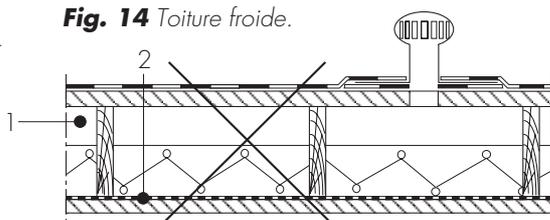
3.3.1 TOITURE FROIDE

La toiture dite "froide" comporte, entre le plancher de toiture supérieur (support de l'étanchéité) et l'isolation, un espace ventilé par de l'air extérieur.

Il s'agit d'un système dépassé qui peut causer des dégâts considérables résultant essentiellement de la condensation interne due aux fuites d'air et à une température des matériaux inférieure à la température de l'air. Ce phénomène, qui entraîne un pourrissement des planchers de toiture sensibles à l'humidité, est très difficile à éviter et plus aigu encore en présence de buses de ventilation en toiture.

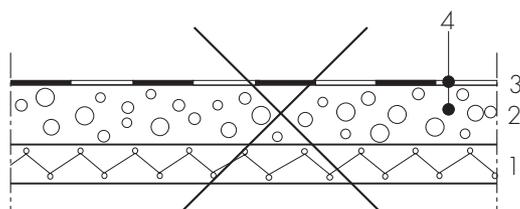
1. Espace ventilé par de l'air extérieur
2. Ecran étanche à l'air

Fig. 14 Toiture froide.



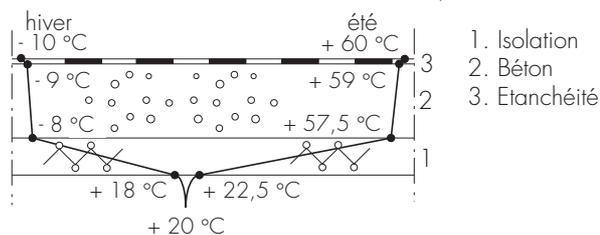
Les toitures froides sont dès lors déconseillées pour les constructions neuves. Si l'on souhaite améliorer l'isolation d'une toiture froide existante, mieux vaut la transformer en toiture chaude ou en toiture inversée ([6], cf. également chapitre 10, p. 82). Même en l'absence de buses de ventilation, une telle composition de toiture n'est pas recommandée, car il est difficile d'assurer la continuité du pare-vapeur en dessous du plancher. Une étude hygrothermique montrera quelle doit être l'importance de l'isolation (en fonction de la résistance thermique demandée et de la classe de climat intérieur) et déterminera si l'isolation existante doit être enlevée.

Fig. 15 Isolation sous le plancher de toiture.



1. Isolation
2. Béton
3. Etanchéité
4. Fissuration éventuelle

Fig. 16 Evolution des températures (en régime stationnaire) dans une toiture isolée sous le plancher.



3.3.2 ISOLATION SOUS LE PLANCHER

L'isolation se trouve à la face inférieure du plancher de toiture et peut être combinée à une plaque de plâtre et un écran pare-vapeur, par exemple.

Cette composition de toiture est déconseillée, d'une part, parce que le plancher est soumis à de fortes variations de température qui risquent d'engendrer des fissures, par exemple dans le mur porteur au droit de l'appui du plancher (figure 17), et, d'autre part, parce que le support perd son inertie thermique. Il est, dans ce cas-ci aussi, difficile d'éviter la condensation interne car, en pratique, il est quasi impossible de réaliser un pare-vapeur parfait et que, dans le cas des nouvelles constructions, l'humidité de construction humidifie le matériau d'isolation du fait de la condensation d'été ("condensation inversée").

Pour les mêmes raisons, il convient de se méfier des faux plafonds fortement isolés, qui nécessitent une étude hygrothermique spécifique.

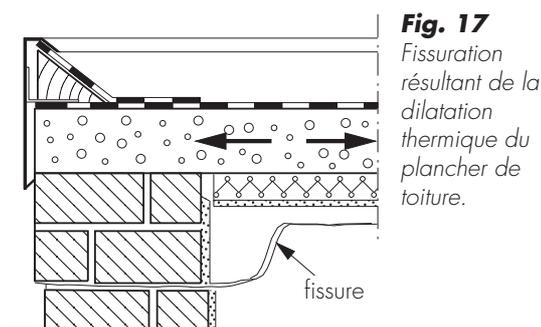


Fig. 17

Fissuration résultant de la dilatation thermique du plancher de toiture.

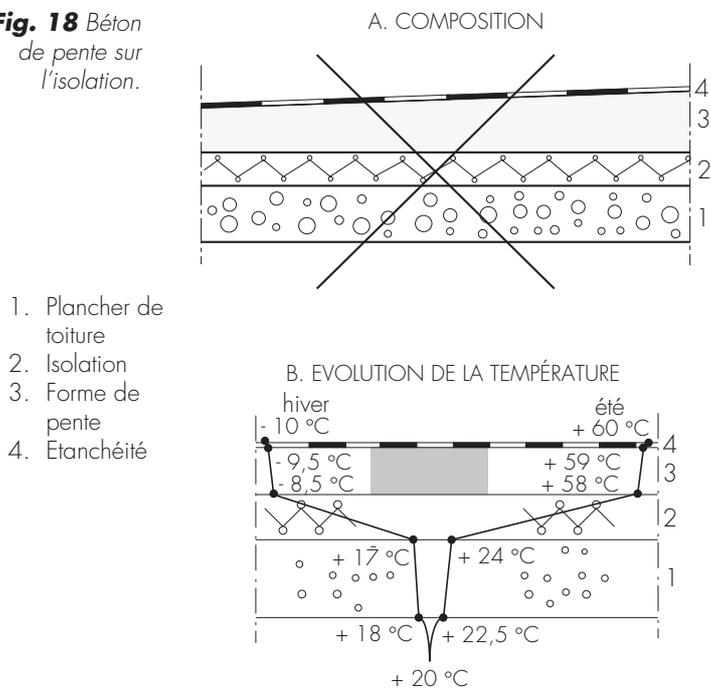
3.3.3 BÉTON DE PENTE SUR L'ISOLATION

L'isolation se situe entre le plancher de toiture et le béton de pente. Ce système est déconseillé, 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, des mouvements thermiques importants peuvent occasionner la fissuration du béton de pente et de l'étanchéité.

En cas de rénovation, il vaut mieux convertir ce type de toiture en toiture chaude ou en toiture inversée sur l'étanchéité existante. Une étude hygro-

thermique permettra de déterminer dans quelle mesure il convient de l'isoler.

Fig. 18 Béton de pente sur l'isolation.





4 LE PLANCHER DE TOITURE

4.1 TYPES

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

Le plancher de toiture peut être composé :

- ◆ de dalles monolithiques en béton ou d'éléments préfabriqués, en béton ou en terre cuite, rendus monolithiques par une couche de compression ou une forme de pente
- ◆ d'éléments préfabriqués en béton sans couche de compression et d'éléments préfabriqués en béton léger
- ◆ de planches ou de panneaux en matières végétales ou en fibres organiques ou minérales assemblées au moyen d'un liant
- ◆ de tôles profilées en acier
- ◆ de panneaux de toiture composites avec noyau d'isolation thermique (panneaux sandwichs et autres) ou de panneaux d'isolation thermique rendus autoportants par une armature.

Le plancher de toiture peut être horizontal ou en pente. Dans le premier cas, il convient de prévoir une forme de pente (chapitre 5).

4.2 RECOMMANDATIONS

Pour assurer le bon comportement des compositions de toiture, il convient de veiller à la siccité, à la planéité, à la rugosité, à la cohésion et à l'étanchéité à l'air du support.

On trouvera ci-dessous quelques données ou recommandations ainsi que des critères qualitatifs correspondant à différentes constructions porteuses, avec ou sans pente.

4.2.1 PROPRIÉTÉS

4.2.1.1 SICCITÉ DU SUPPORT

Le terme "support" désigne ici la surface du plancher ou de la forme de pente sur laquelle l'entrepreneur d'étanchéité commence son travail. La surface du support doit être sèche à l'air pour permet-

tre les travaux en toiture et assurer une bonne adhérence des diverses couches (p. ex. pour éviter les boursoufflures sous l'écran pare-vapeur). Il convient de tenir compte, dans la composition de la toiture, du fait qu'un support en béton contient une quantité importante d'humidité de construction, surtout en cas de béton coulé sur place ou de béton de pente.

On entend par *surface sèche à l'air* 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.

4.2.1.2 PLANÉITÉ DU SUPPORT

L'adhérence de l'écran pare-vapeur, de l'isolation ou de l'étanchéité sur le plancher exige une planéité suffisante du support. La planéité requise du support dépend, d'une part, du type de membrane ou d'isolation qui doit y être posée et, d'autre part, de la technique de pose. Pour le placement d'une membrane soudée en adhérence totale ou posée en indépendance, le support doit répondre à des exigences plus sévères que celui sur lequel on prévoit un système de toiture appliqué en adhérence totale au bitume chaud.

En cas d'adhérence directe d'une sous-couche/écran pare-vapeur ou d'une membrane, une différence de niveau est tolérée pour autant qu'elle ne compromette pas la qualité de l'adhérence et que la membrane ne coure aucun risque de perforation en cas de pression sur le désaffleurement (pression du pied, pose d'une bonbonne de gaz, passage d'un chariot, etc.).

Une tolérance plus large peut être admise si l'on pose directement sur le support une couche d'isolation qui, par sa structure ou par la technique de pose utilisée (bitume), est susceptible de limiter l'effet négatif de cette différence de niveau.

4.2.1.2.1 PLANÉITÉ SUR 2 M

On autorise généralement un écart de planéité de 10 à 12 mm maximum, mesuré à l'aide d'une règle de 2 m (cf. "a" au tableau 10).

Fig. 19 Planéité du support sur 2 m.

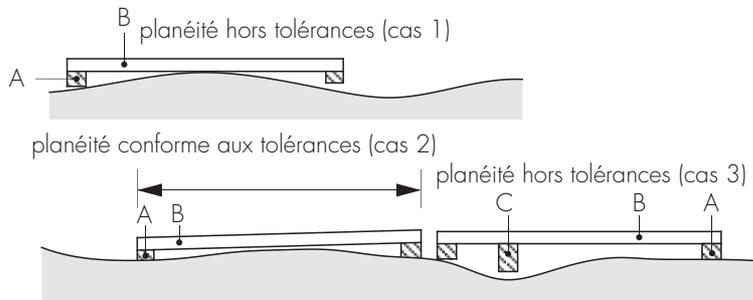
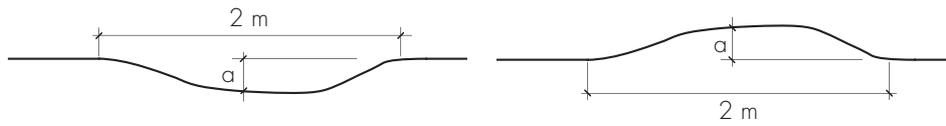


Fig. 20 Examen de la planéité d'un support.

- A. Taquet d'une épaisseur équivalente à la tolérance
- B. Règle de 2 m de long
- C. Taquet mobile (épaisseur équivalente au double de celle du taquet A)

Tableau 10 Valeurs de référence pour les tolérances en cas d'exécution normale.

		SOUDAGE OU POSE EN INDÉPENDANCE DE PARE-VAPEUR OU D'ÉTANCHÉITÉS BITUMINEUSES	COLLAGE AVEC BITUME CHAUD OU COLLE À FROID DE PARE-VAPEUR OU D'ÉTANCHÉITÉS BITUMINEUSES	POSE DE PARE-VAPEUR OU D'ÉTANCHÉITÉS SYNTHÉTIQUES	POSE DE L'ISOLANT		
					CG	EPS/EPB/PUR/PF	MW
PLANÉITÉ	 $a \leq$	10 mm	12 mm	10 mm	3 mm/0,6 m	10 mm	12 mm
	 $b \leq$	2 mm	5 mm	2 mm	3 mm/0,6 m	5 mm	5 mm
	 $c \leq$ $d \leq$	2 mm	5 mm V50/16 : 2 mm	1 mm	3 mm	5 mm	5 mm
RUGOSITÉ	 $e \leq$						

La planéité peut se contrôler comme indiqué à la figure 20.

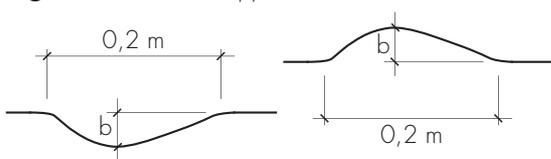
On dispose la règle munie de ses deux taquets sur la surface à contrôler :

- ◆ cas 1 : un taquet et un point de la règle touchent le plancher, tandis que le second taquet ne le touche pas. La planéité n'est pas dans les tolérances

- ◆ cas 2 : les deux taquets touchent le plancher, 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 plancher, 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. 21 Planéité du support sur 0,2 m.



4.2.1.2.2 PLANÉITÉ SUR 0,2 M

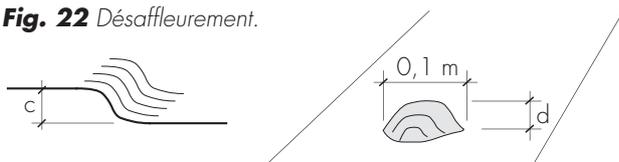
On autorise généralement un écart de 2 à 5 mm maximum, mesuré avec une règle de 0,2 m (cf. "b" au tableau 10).

La planéité peut se contrôler conformément à la procédure décrite au § 4.2.1.2.1.

4.2.1.2.3 DÉSAFFLEUREMENTS

Le désaffleurement doit être limité à 2 à 5 mm, selon le cas (cf. "c" et "d" au tableau 10).

Fig. 22 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 de mortier de résine modifiée, de mortier résineux, ...
- ◆ aspérités : décapage et correction mécaniques, ponçage, application d'une couche de remplissage, ...

4.2.1.3 RUGOSITÉ DU SUPPORT

Une certaine rugosité de surface est requise pour améliorer l'adhérence des membranes ou de l'isolant. A l'instar des autres critères, il convient de distinguer les compositions faisant appel à des couches soudées, d'une part, et celles où l'isolation est posée directement sur le support, d'autre part.

Dans le cas de membranes soudées, la rugosité doit être moindre que l'épaisseur de la membrane, afin d'éviter les perforations pendant la pose.

En revanche, une couche d'isolation ou d'étanchéité posée à l'aide de bitume chaud ou d'une colle à froid – c.-à-d. avec un apport de matière – peut s'accommoder d'une rugosité plus importante, ce qui rend les critères moins sévères.

Pour les supports en béton, la rugosité admise est de l'ordre de 1 à 5 mm selon le cas (cf. "e" au tableau 10).

Il est possible d'améliorer une trop grande rugosité, par exemple en faisant appel à un mortier à base de résine modifiée, à du bitume chaud, en soudant une sous-couche de type V4 ou analogue, ...



Fig. 23 Rugosité du support.

4.2.1.4 COHÉSION

On veillera à contrôler la présence éventuelle, sur du béton lourd ou léger, d'une fine pellicule de ciment empêchant une bonne adhérence. On visera une cohésion à la surface du béton équivalente à 20 kPa.

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), ...

4.2.1.5 ETANCHÉITÉ À L'AIR

Le béton coulé sur place est, en soi, étanche à l'air. Dans le cas du béton de pente, l'étanchéité à l'air dépend du plancher de toiture. La plupart des autres types de plancher sont perméables à l'air du fait de la présence de joints entre les éléments du plancher.

4.2.2 TYPES DE PLANCHER DE TOITURE ET LEURS PROPRIÉTÉS

4.2.2.1 BÉTON COULÉ SUR PLACE OU BÉTON DE PENTE

Dans le cas du béton coulé sur place ou du béton de pente, il convient avant tout de veiller à la siccité et à la planéité du support, ainsi qu'à la rugosité et à la cohésion. L'étanchéité à l'air pose rarement problème.

4.2.2.2 ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS SANS COUCHE DE COMPRESSION

- ◆ Degré d'humidité : l'humidité constitue rarement un problème pour les bétons normaux (peu d'eau de gâchage). Le béton cellulaire, en revanche, peut contenir une quantité importante d'humidité et doit être suffisamment sec en surface avant qu'on puisse entamer les travaux de toiture.
- ◆ Planéité et étanchéité à l'air : les joints longitudinaux des éléments préfabriqués en béton normal ou en béton cellulaire sans couche de compression doivent toujours être remplis. Dans le cas des emboîtements par rainure et languette, il n'y a pas lieu de redouter des mouvements différentiels. Il est recommandé de poser une bande en indépendance sur les joints d'about [9].

Le remplissage de ces joints permet non seulement de rendre le support de toiture étanche à l'air mais aussi, au besoin, d'améliorer la planéité globale de la surface.

Fig. 24 Différences de hauteur dans le cas des éléments préfabriqués ("c" cf. tableau 10).

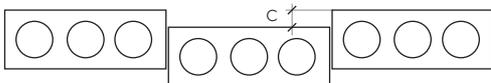
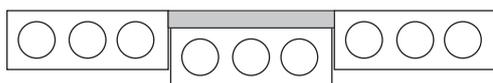


Fig. 25 Mise à niveau des éléments préfabriqués.



4.2.2.3 PLANCHES OU PANNEAUX EN MATIÈRES VÉGÉTALES OU AUTRES FIBRES ORGANIQUES MINÉRALES ASSEMBLÉES AU MOYEN D'UN LIANT

Ce plancher de toiture se compose de :

- ◆ planches (conviennent particulièrement pour les toitures de formes complexes)
- ◆ panneaux de particules (d'une épaisseur ≥ 18 mm et collage résistant à l'eau)
- ◆ panneaux multiplex (d'une épaisseur ≥ 18 mm et collage résistant à l'eau)
- ◆ panneaux OSB (collage résistant à l'eau)
- ◆ panneaux en fibrociment
- ◆ panneaux à base de copeaux de bois agglomérés au ciment.

Les différents matériaux doivent satisfaire aux STS 31 et 32 [35, 36].

On veillera à prendre les précautions qui s'imposent en matière de chevauchement des planches (exigence de planéité : "c" du tableau 10) et d'étanchéité à l'air (clouer un P3 sur les planches et prévoir des bandes de recouvrement sur les panneaux). Les différents panneaux doivent être posés sur au moins trois points d'appui.

4.2.2.4 TÔLES PROFILÉES EN ACIER [30]

Pour assurer le bon comportement de l'isolation et de l'étanchéité sur des tôles profilées en acier, il faut veiller :

- ◆ au choix des tôles profilées à utiliser (type et épaisseur de tôle, portée et nombre de travées), qui doit reposer sur une étude de stabilité. L'action combinée des différents effets exceptionnels (Eurocode 3) ne peut entraîner une déformation supérieure à 1/200 de la portée de la tôle profilée; p. ex., pour une portée de 6 m, la flexion maximale autorisée est de 30 mm
- ◆ à l'épaisseur nominale ($\pm 10\%$) des tôles profilées en acier (*coating* et galvanisation éventuels compris) : pour le genre d'application considéré ici – fixation mécanique sans lestage –, on privilégiera une épaisseur de 0,88 mm, qui permet une fixation mécanique adéquate et renforce la stabilité et la rigidité du support. Une épaisseur de 0,75 mm est techniquement acceptable. Néanmoins, l'extrême minceur des tôles entraîne souvent une détérioration (bosses) des panneaux, de l'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
- ◆ aux points suivants qui contribuent à la stabilité et à la planéité du plancher de toiture lors de la pose des tôles profilées :
 - les tôles profilées doivent reposer de préférence sur 3 points d'appui au minimum; aux endroits où l'on ne compte que 2 points d'appui (travée extrême, au droit des percements de toiture), il est souvent nécessaire de prévoir une tôle d'une épaisseur plus importante, déterminée sur la base d'une étude de stabilité
 - les tôles profilées sont de préférence disposées en quinconce : la mise en charge et la flexion sont ainsi plus homogènes, ce qui permet d'atténuer les phénomènes de stagnation d'eau, ...
 - les tôles profilées doivent être soutenues sur tout le pourtour de la toiture; au droit des percements de toiture, elles doivent recevoir un support supplémentaire ou être consolidées en suffisance

Fig. 26 Evaluation de la pose des tôles profilées en acier.



- les tôles profilées doivent être fixées les unes aux autres au moins tous les 0,5 m dans le joint longitudinal
- les tôles profilées doivent être libres de toute tension lors de leur mise en œuvre (non étirées et non comprimées) (cf. figure 26)
- ◆ à l'étanchéité à l'air des ouvertures créées par les ondes des tôles à hauteur des rives; elle sera de préférence assurée à l'aide de matériaux de remplissage ininflammables, afin de limiter la charge de vent et la succion de l'air intérieur humide. Les tôles profilées en acier sont considérées comme perméables à l'air (au droit des joints)
- ◆ aux joints entre les tôles profilées responsables d'une résistance limitée à la diffusion ($\mu_{eq} =$ environ 1 m) et d'une perméabilité à l'air élevée des tôles. L'efficacité d'un masticage des joints n'est que très limitée, en raison du vieillissement du mastic et des difficultés de mise en œuvre
- ◆ à l'accumulation d'eau dans le creux des ondes pendant l'exécution, inévitable lorsque les ondes sont perpendiculaires à la pente. On peut remédier à cette situation en perçant chaque onde au centre de la portée. L'eau stagnante augmente en effet le risque de condensation dans l'isolation et peut corroder les tôles profilées
- ◆ au pontage des ondes : l'épaisseur de l'isolation doit être suffisante et dépend du type d'isolant choisi (cf. ATG)
- ◆ au traitement de surface des tôles profilées (durabilité et aspect). Il convient de tenir compte également de la visibilité des points de vissage, colorés ou non.

4.2.2.5 PANNEAUX DE TOITURE COMPOSITES AVEC ISOLATION THERMIQUE INTÉGRÉE

Nous renvoyons, pour la planéité, la cohésion et l'étanchéité à l'air des panneaux, au § 4.2.1.5 (p. 23).

Le pare-vapeur fait l'objet du chapitre 6 (p. 29).

4.3 EXAMEN DU PLANCHER

Avant d'entamer les travaux de toiture, l'entrepreneur des travaux d'étanchéité examine l'état apparent du plancher de toiture et s'assure que la surface de ce dernier soit suffisamment sèche.

Le plancher de toiture et sa conformité aux dispositions contractuelles doivent être agréés par le maître de l'ouvrage ou par son représentant. La surface visible du plancher de toiture doit être entièrement parachevée, en ce compris les relevés, les joints de dilatation, les gouttières et les ouvertures pour les avaloirs. Les pentes prévues doivent être correctement exécutées (cf. chapitre 5). Il appartient à l'entrepreneur de mentionner toute imperfection éventuelle après examen général.

Les déchets de toute nature doivent être éliminés du plancher par brossage, et les aspérités aplanies.



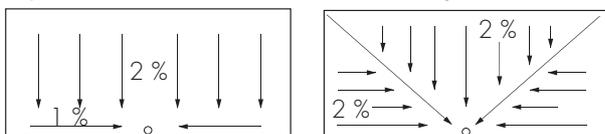
5 LA PENTE

5.1 GÉNÉRALITÉS

La pente doit être telle qu'après déformation de la toiture, l'eau puisse s'écouler normalement vers les points d'évacuation [9]. Il convient dès lors de veiller, lors de la conception du plancher de toiture et même de la structure porteuse, à ménager une pente suffisante pour éviter toute stagnation d'eau importante, non seulement au niveau des parties courantes et des gouttières, mais aussi autour des pénétrations de toiture (principalement les coupoles et les lanterneaux).

Dans les nouvelles constructions, la pente doit être de préférence de 2 % ou plus en tout point, et de 1 % dans les chéneaux. Lors de la rénovation de toitures existantes, il est souvent impossible de respecter ce principe, à moins de prévoir une isolation supplémentaire selon les techniques d'exécution décrites aux §§ 5.2.4 et 5.2.5.

Fig. 27 Pente nominale des toitures et des gouttières.



Les stagnations d'eau importantes sur une toiture présentent différents inconvénients :

- ◆ dans le cas de structures porteuses trop légères, le poids supplémentaire entraîne des déformations accrues
- ◆ les fuites éventuelles peuvent causer de graves infiltrations d'eau
- ◆ le gel engendre des efforts de traction dans l'étanchéité
- ◆ les fuites sont plus difficiles à réparer aux endroits humides
- ◆ les saletés peuvent se concentrer et attaquer la protection UV.

On remarque, dans le cas d'étanchéités à base de bitume oxydé, un vieillissement accéléré des parties de toiture sujettes aux stagnations d'eau. Ce phénomène n'a pas encore été observé en présence d'étanchéités synthétiques ou à base de bitume polymère. Le risque de stagnation d'eau ne constitue donc pas, à lui seul, une raison suffisante pour émettre des réserves lors de la réception des travaux. Éviter les stagnations d'eau relève de la conception et incombe à l'entrepreneur réalisant le plancher de toiture et/ou la forme de pente.

Pour éviter de surcharger la toiture et empêcher qu'en cas d'obstruction de l'évacuation, l'eau ne s'écoule à l'intérieur, il est recommandé, voire indispensable de disposer des gargouilles sur toutes les toitures plates avec parties en élévation. Ces gargouilles forment un dispositif de secours pour l'évacuation de l'eau. Parallèlement, l'eau sortant de la gargouille indique que l'écoulement ne s'effectue pas normalement ou pas du tout (p. ex. obstruction par des feuilles). Pour plus de détails, nous renvoyons à la NIT 191.

5.2 TECHNIQUES DE RÉALISATION

La pente peut être réalisée de différentes manières :

- ◆ en donnant une inclinaison au plancher de toiture coulé sur place (dalle de béton monolithique)
- ◆ en posant en pente les éléments préfabriqués (éléments en béton, tôles profilées en acier, bois, ...)
- ◆ en réalisant une forme de pente composée de béton maigre ou léger (béton mousse, béton de granulats d'argile, béton de granulats de perlite, ...)
- ◆ en utilisant des panneaux d'isolation en pente ou des granulats liés à du bitume
- ◆ en combinant les deux solutions précédentes : panneaux d'isolation d'épaisseur variable, remplis et lissés avec du mortier isolant lié au ciment.

5.2.1 RÉALISATION DU PLANCHER DE TOITURE EN PENTE

La réalisation immédiatement en pente d'un plancher de toiture constitue une solution théoriquement attirante, car elle évite d'avoir recours à une pente supplémentaire (béton de pente). Cette solution offre l'avantage de réduire le poids du béton de 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.

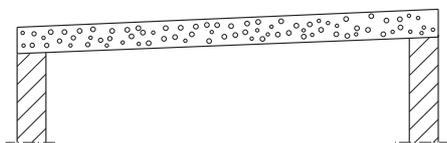
5.2.2 ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS EN PENTE

Les pentes réalisées à l'aide d'éléments préfabriqués se rencontrent le plus souvent dans les bâtiments industriels, où ces éléments sont posés sur une structure porteuse en béton ou en acier.

Les fermes de telles structures ont habituellement une pente suffisante dans un sens, mais la flèche du plancher entraîne, dans nombre de cas, des stagnations d'eau dans les gouttières.

Il est donc vivement recommandé de prévoir, dès la conception, une pente dans le sens transversal également, en utilisant par exemple des colonnes de hauteur variable. Cette technique est surtout conseillée lorsqu'on recourt 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 tôles profilées sans chevauchement, on peut également veiller à ce que le point d'appui central des tôles soit situé plus haut que les extrémités, afin de créer un contre-niveau.

Fig. 28 Plancher de toiture coulé sur place en pente ou éléments préfabriqués disposés en pente.



5.2.3 POSE D'UNE FORME DE PENTE

La mise en œuvre d'une forme de pente à base de ciment permet une bonne évacuation des eaux, quel que soit le type de plancher de toiture, mais augmente le poids de l'ensemble et renferme de grandes quantités d'humidité de construction, surtout en cas de forte surépaisseur. La forme de pente doit être considérée comme un élément du plancher de toiture. Les formes de pente à base de béton léger remplissent également une fonction isolante.

La forme de pente à base de béton se pose directement (sans couche de désolidarisation) sur la structure porteuse proprement dite pour éviter l'inclusion d'humidité de construction et permettre au séchage de s'effectuer vers l'intérieur. L'écran pare-vapeur doit être appliqué sur la forme de pente et l'isolant sur l'écran pare-vapeur.

L'évacuation de l'humidité vers l'extérieur par des buses d'aération ne donne pas de bons résultats. Pour faciliter l'évacuation de l'eau de gâchage excédentaire, il peut être judicieux de forer quelques trous dans le béton de la structure porteuse, à hauteur des points (les plus bas) où l'eau risque de s'accumuler. Il convient toutefois de tenir compte de l'action du vent.

On prêtera une attention toute particulière au taux d'humidité de construction initial, habituellement élevé. Tel est le cas, en particulier, du béton léger, très souvent endommagé par les gelées nocturnes.

Dans ces conditions, il est généralement nécessaire de prévoir une couche de lissage bien adhérente, composée de 20 mm de mortier de ciment, pour offrir un plancher suffisamment plan et éviter l'absorption d'eau (de pluie) supplémentaire et la pulvérisation de la surface causée par la circulation.

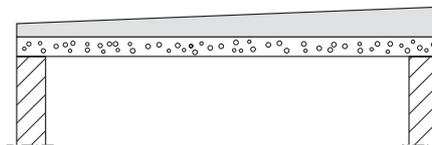


Fig. 29 Forme de pente composée de béton maigre ou léger.

5.2.4 UTILISATION D'UNE ISOLATION À PENTE INTÉGRÉE OU DE GRANULATS À BASE DE BITUME

L'isolation à pente intégrée ou à base de granulats liés à du bitume offre l'avantage de n'occasionner qu'un léger supplément de poids et de ne pas provoquer d'inclusion d'humidité de construction. 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 disposer d'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.

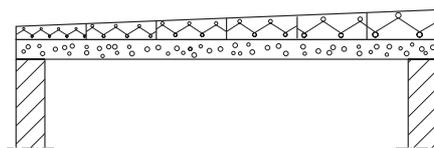


Fig. 30 Pente réalisée au moyen de panneaux d'isolation à pente intégrée.

5.2.5 COMBINAISON D'UNE ISOLATION À PENTE INTÉGRÉE/DE GRANULATS LIÉS À DU BITUME ET D'UNE FORME DE PENTE

La combinaison des solutions présentées aux §§ 5.2.3 et 5.2.4 est relativement légère et contient moins d'humidité de construction que le béton de pente. Pour obtenir une isolation thermique optimale, il faut que les composants puissent sécher vers l'intérieur, ce qui n'est pas le cas lorsque la mise en œuvre s'effectue sur une étanchéité existante. La composition du mortier isolant doit être telle qu'elle exclut les problèmes décrits au § 3.3.3 (p. 19) (cf. ATG).

REMARQUE

La pente des toitures existantes peut être améliorée sans engendrer de contrainte supplémentaire notable, en recourant aux solutions évoquées aux §§ 5.2.4 et 5.2.5. De tels travaux impliquent généralement le rehaussement des rives de toiture et des relevés, ce qui peut le plus souvent se faire sans grande difficulté. Il convient toutefois de prendre des précautions particulières pour les accès débouchant sur la toiture.

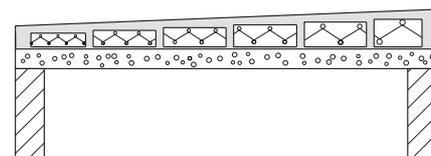


Fig. 31
Panneaux d'isolation d'épaisseurs différentes et mortier isolant.

Le tableau 11 présente un aperçu de quelques propriétés caractéristiques des différents systèmes de pente.

Tableau 11 Propriétés caractéristiques des systèmes de pente.

SYSTÈMES 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
Plancher de toiture en pente	réel	nulle	nulle	faible	élevé
Éléments préfabriqués en pente	faible	nulle	nulle	assez bon pour béton cellulaire	normal
Forme de pente à base de ciment	très faible	importante	importante	faible	élevé
Panneaux d'isolation à pente intégrée/granulats liés au bitume	faible	très faible	nulle	très bon/bon	très élevé
Combinaison des deux systèmes précédents	très faible	limitée	limitée	bon	très élevé



6 L'ÉCRAN PARE-VAPEUR

6.1 FONCTION Pour éviter que la quantité de condensation interne ne devienne inadmissible du fait de la convection de l'air intérieur chargé d'humidité ou de la diffusion de vapeur d'eau ou d'humidité de construction (§ 7.1.8, p. 39), on s'assurera de la nécessité de poser un écran pare-vapeur et d'étanchéité à l'air.

En matière de diffusion de vapeur, c'est l'auteur de projet qui en déterminera l'utilité par calculs ou en se servant de données moyennes précalculées comme celles du tableau 14 (p. 33).

Lorsque le plancher de toiture est perméable à l'air, l'écran pare-vapeur qui y est fixé directement améliore la résistance au vent.

Un écran pare-vapeur à joints étanches peut en outre servir d'étanchéité provisoire pendant les travaux de construction. 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.

Lorsque l'isolation et le plancher de toiture sont perméables à l'air, le pare-vapeur empêche la pénétration des odeurs indésirables (bitume, solvants, ...).

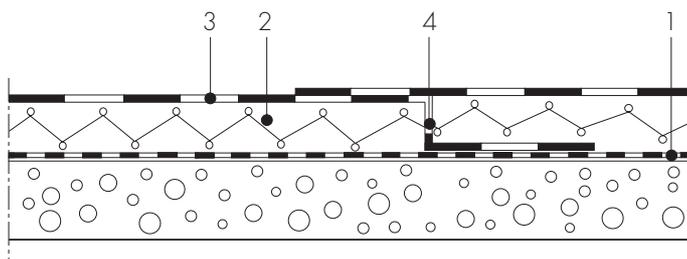
La présence du pare-vapeur a pour effet de retarder la découverte d'éventuelles infiltrations d'eau, de ralentir, voire d'empêcher le séchage de l'humidité occluse (cf. § 7.1.8) et d'entraver la localisation des infiltrations. On peut remédier à cette dernière difficulté en compartimentant l'isolation en fin de journée. Ce compartimentage s'effectue en assemblant l'étanchéité et l'écran pare-vapeur – pour autant qu'ils soient compatibles (la prudence s'impose avec les membranes synthétiques); il doit être indiqué par l'entrepreneur de l'étanchéité sur les plans "as built".

Cette technique de compartimentage peut aussi s'employer pour diviser la toiture suivant les zones de vent. On prendra alors éventuellement, pour chaque partie de toiture, des dispositions supplémentaires en vue d'assurer sa résistance au vent. En cas de tempête, le compartimentage réduit les risques d'arrachage complet de l'étanchéité sur des planchers étanches à l'air.

Sur une toiture inversée, la fonction d'écran pare-vapeur est remplie par l'étanchéité située sous l'isolation (§ 3.2, p. 18).

Fig. 32 Compartimentage de l'isolation.

1. Ecran pare-vapeur en bitume ou en matériau compatible avec l'étanchéité
2. Isolation
3. Etanchéité
4. Fin de la production journalière ou zone de compartimentage



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 de l'étanchéité ou de la couche de protection.

Le calcul se fonde sur les facteurs précités et prend en compte des données expérimentales et/ou certifiées ou normalisées des matériaux.

6.2.1 CLASSES DE CLIMAT INTÉRIEUR

On détermine tout d'abord la classe de climat intérieur du bâtiment, qui 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 de l'air intérieur est tellement bas que des problèmes liés à la condensation interne ne risquent pas de se produire. La classe de climat intérieur IV comprend les bâtiments où, à défaut de mesures appropriées, on peut s'attendre à une condensation résiduelle an-

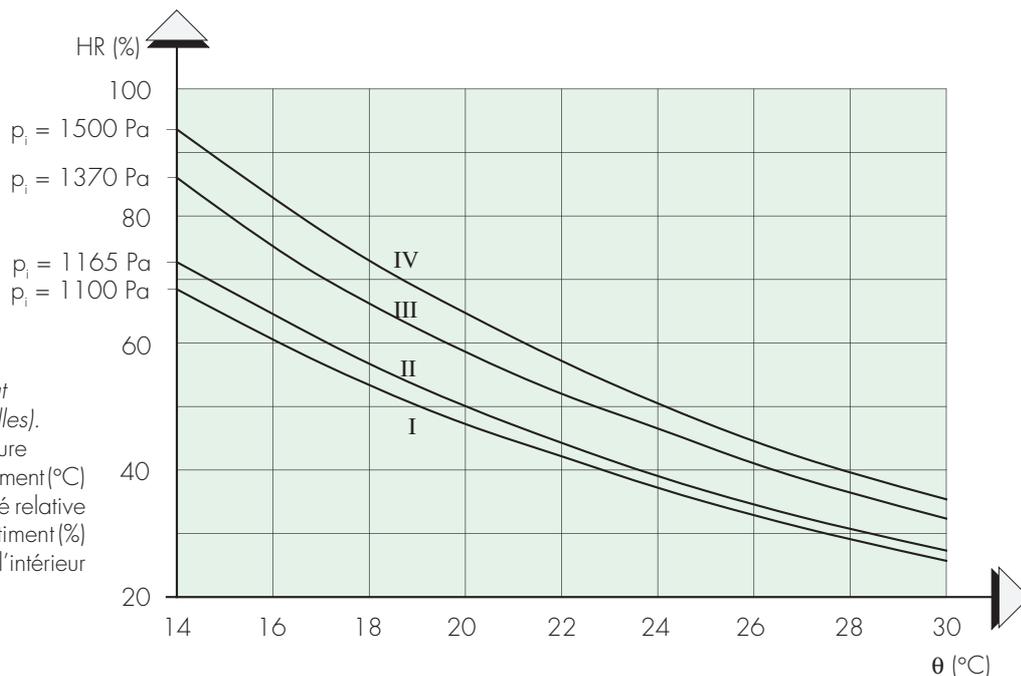


Fig. 33 Classes de climat intérieur (moyennes annuelles).
 En abscisse, θ = température moyenne à l'intérieur du bâtiment (°C)
 En ordonnée, HR = humidité relative moyenne à l'intérieur du bâtiment (%)
 p_i = pression de la vapeur à l'intérieur du bâtiment (Pa)

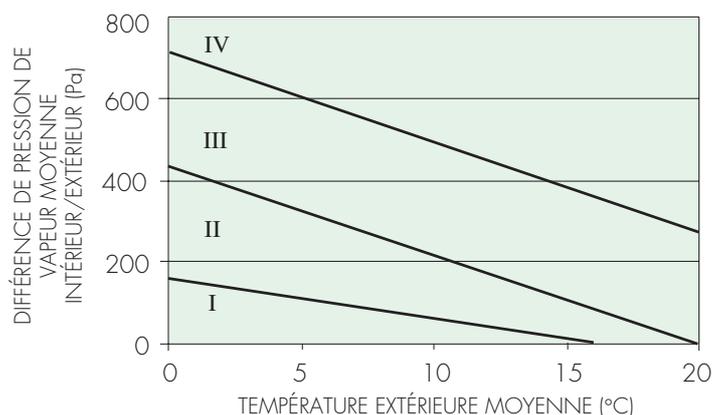


Fig. 34 Limites des classes de climat intérieur en fonction de la température extérieure et de la différence de pression de vapeur entre intérieur et extérieur mesurée pendant une période de 4 semaines.

nuelle du fait d'une condensation interne dans la toiture.

Le tableau 12 indique, pour les bâtiments les plus courants, la classe de climat intérieur susceptible d'y régner.

Les limites entre les classes sont évaluées sur la base de la pression de vapeur annuelle moyenne de l'air intérieur (figure 33) 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 34). Cette dernière relation est souvent pratique pour classer les bâtiments existants en fonction du climat intérieur [31].

En pratique, on peut déterminer assez rapidement, à partir des valeurs de mesure moyennes de quatre semaines, la classe de climat intérieur d'un bâti-

EXEMPLE DE DETERMINATION DE LA CLASSE DE CLIMAT INTERIEUR

Lors d'un diagnostic relatif à la formation de moisissures, un hygrothermographe a été placé dans un appartement social pendant quatre semaines. Cet appareil a enregistré une température moyenne de 15,2 °C et une humidité relative de 56 %. Les valeurs climatiques pour cette même période ont été demandées à la station météorologique la plus proche : la température extérieure était de 6,6 °C et l'humidité relative de 86 %.

Ces données permettent de déterminer la pression de vapeur de l'air intérieur et extérieur :

- ◆ $p_i = 1728 \cdot 0,56 = 968 \text{ Pa}$
- ◆ $p_e = 975 \cdot 0,86 = 839 \text{ Pa}$.

Les valeurs de 1728 et de 975 Pa sont les pressions de vapeur de saturation pour des températures respectives de 15,2 et 6,6 °C.

La différence de pression de vapeur entre l'intérieur et l'extérieur est égale à :

$$p_i - p_e = 968 - 839 = 129 \text{ Pa.}$$

Cette valeur doit être comparée avec les valeurs limites entre les classes de climat intérieur pour une température extérieure de 6,6 °C (cf. tableau 12) :

- ◆ limite I-II : $p_i - p_e = 159 - 10 \cdot 6,6 = 93 \text{ Pa}$
- ◆ limite II-III : $p_i - p_e = 436 - 22 \cdot 6,6 = 291 \text{ Pa}$.

La différence de pression de vapeur mesurée (129 Pa) se situe entre ces deux limites. L'appartement a donc une classe de climat intérieur II.

Tableau 12
Classes de climat intérieur.

CLASSES DE CLIMAT INTÉRIEUR	EXEMPLES	PRESSIONS DE VAPEUR ANNUELLES MOYENNES À L'INTÉRIEUR p_i (Pa)	DIFFÉRENCES DE PRESSION DE VAPEUR MOYENNES PENDANT 4 SEMAINES $(p_i - p_e)$ (Pa) (*)
I Bâtiments à production d'humidité permanente faible à nulle	<ul style="list-style-type: none"> - entrepôts de marchandises sèches - églises, salles d'exposition, garages, ateliers 	$1100 \leq p_i < 1165$	$< 159 - 10 \cdot \theta_e$ (**)
II Bâtiments bien ventilés avec une production d'humidité limitée par m^3	<ul style="list-style-type: none"> - grandes habitations - écoles - magasins - bureaux non climatisés - salles de sport et halls polyvalents 	$1165 \leq p_i < 1370$	$< 436 - 22 \cdot \theta_e$
III Bâtiments avec production d'humidité plus importante au m^3 et ventilation modérée à suffisante	<ul style="list-style-type: none"> - (petits) logements, flats - hôpitaux, homes - salles de consommation, restaurants, salles des fêtes, théâtres - bâtiments faiblement climatisés (HR ≤ 60 %) 	$1370 \leq p_i < 1500$	$< 713 - 22 \cdot \theta_e$
IV Bâtiments à production d'humidité élevée	<ul style="list-style-type: none"> - bâtiments fortement climatisés (HR > 60 %) - locaux d'hydrothérapie - piscines (couvertes) - locaux industriels humides comme : blanchisseries, imprimeries, brasseries, usines à papier 	$p_i \geq 1500$, limitées à 3000 Pa dans le cadre de cette NIT	$> 713 - 22 \cdot \theta_e$
<p><i>Remarque</i> : les bâtiments en surpression, les bâtiments à teneur en humidité fortement fluctuante (p. ex. les dancings) ou les toitures à faux plafond isolé exigent une étude spécifique du point de vue de la physique du bâtiment.</p> <p>(*) Correspond à la figure 34.</p> <p>(**) θ_e = température extérieure.</p>			

ment existant caractérisé par une production d'humidité relativement constante et ce, à l'aide de la figure 34 ou des relations indiquées au tableau 12.

On mesure pendant quatre semaines la température et l'humidité relative de l'air intérieur et de l'air extérieur. 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 la figure 34 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 des bâtiments et au comportement des habitants.

Une certaine prudence s'impose toujours lors de la détermination de la classe de climat intérieur. Ainsi, un entrepôt pour "marchandises sèches" peut présenter malgré tout une humidité considérable, tout simplement parce que, par exemple, le bois des

palettes sur lesquelles reposent les produits est lui-même humide (l'humidité provient de l'extérieur). De même, un changement d'affectation du bâtiment peut entraîner une augmentation des sollicitations liées à l'humidité.

6.2.2 CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES DES MATÉRIAUX

Lors de la conception de la toiture, il convient avant tout de tenir compte des caractéristiques de l'isolant thermique et du pare-vapeur. Les propriétés de l'isolation seront examinées en détail au chapitre 7, tandis que les écrans pare-vapeur sont traités ci-après (valeurs de μ : voir e.a. NBN EN 12524 [52]).

Les pare-vapeur peuvent être classés selon l'épaisseur équivalente de diffusion $(\mu_d)_{eq}$ (m). Cette caractéristique 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-

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

CLASSE + $(\mu d)_{eq}$ (*)	MATÉRIAU	REMARQUES
E1 (≥ 2 à < 5 m)	Film en PE (épaisseur = 0,2 mm) avec des recouvrements de 100 mm minimum. <i>Aussi utilisables</i> : tous les matériaux des classes 2, 3 et 4.	Une couche d'adhérence ne peut pas être considérée comme un écran pare-vapeur à part entière, même sur un support continu.
E2 (≥ 5 à < 25 m)	– Films en PE (épaisseur $\geq 0,2$ mm) et laminés d'aluminium. – Voile de verre bitumineux V 50/16. – Voile de polyester bitumineux P 150/16. <i>Aussi utilisables</i> : tous les matériaux des classes 3 et 4.	Les joints de recouvrement doivent toujours être collés ou soudés entre eux et aux autres éléments de construction.
E3 (≥ 25 à < 200 m)	– Bitume armé V3, V4, P3 ou P4. – Bitume polymère APP ou SBS (épaisseur minimale = 3 mm) armé d'un voile de verre ou de PES. <i>Aussi utilisables</i> : tous les matériaux de classe 4.	Les joints de recouvrement doivent toujours être collés ou soudés entre eux et aux autres éléments de construction.
E4 (≥ 200 m)	– Bitumes armés avec feuilles métalliques (ALU 3). – Pare-vapeur multicouches en bitume polymère (≥ 8 mm).	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. Les perforations (par exemple, par les vis de fixation) ne sont pas admises.
(*) $(\mu d)_{eq}$ est l'épaisseur équivalente de diffusion de vapeur et détermine la caractéristique de résistance à la vapeur d'une couche (de pare-vapeur). $[(\mu d)_{eq} = 1 \text{ m}]$ correspond à une couche d'air immobile d'une épaisseur de 1 m. $(\mu d)_{eq} > 200 \text{ m}$: pare-vapeur "absolu".		

ci sont reprises au tableau 13, qui donne des informations relatives aux matériaux entrant dans la composition des pare-vapeur, ainsi qu'à leur épaisseur équivalente de diffusion $(\mu d)_{eq}$. La mise en œuvre proprement dite est abordée au § 6.3.

Dans le cas des étanchéités bitumineuses et des systèmes de collage bitumineux, on utilise le plus souvent des écrans pare-vapeur bitumineux, tandis qu'on applique généralement un pare-vapeur synthétique en présence d'étanchéités synthétiques. On peut combiner les matières synthétiques et le bitume à condition qu'ils soient compatibles, étant donné qu'ils entrent en contact au droit des bords (pour les combinaisons possibles, cf. l'ATG correspondant et la figure 35).

Un écran pare-vapeur composé d'une feuille de PE ne peut pas entrer en contact avec du bitume chaud.

Les panneaux sandwichs de toiture avec 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 prévues dans l'ATG des panneaux. En classe de climat IV, ce genre de panneaux est exclu.

Lorsque l'étanchéité est fixée mécaniquement, on veillera particulièrement à ce que les joints entre les éléments sandwichs soient bien étanches à l'air (tant les joints entre les éléments que les joints aux appuis). L'exécution est délicate et doit se faire conformément aux prescriptions stipulées dans l'ATG des éléments.

6.2.3 QUALITÉ DU PARE-VAPEUR

Le tableau 14 présente les données moyennes calculées pour chaque type de pare-vapeur à utiliser (E1, E2, E3, E4) en fonction des caractéristiques du plancher de toiture et de l'isolation, et de la classe de climat intérieur. Les données reprises dans ce tableau peuvent servir de solutions alternatives à des calculs plus détaillés.

Pour les bâtiments appartenant à la classe de climat intérieur IV, où règne une pression de vapeur an-

SUPPORT OU FORME DE PENTE	CLASSE DE CLIMAT INTÉRIEUR	PUR/PIR/EPS/PF		MW/EPB/ICB		CG
		TECHNIQUE DE POSE DE L'ÉTANCHÉITÉ (*)				
		M (a)	L/T/P	M (a)	L/T/P	
Béton coulé <i>in situ</i> , éléments préfabriqués en béton (b) (c)	I	E3	E3	E3	E3	(h)
	II	E3	E3	E3	E3	(h)
	III	E3	E3	E3	E3	(h)
	IV	X	E4	X	E4	(d)
Voligeage ou panneaux à base de bois résistant à l'humidité (e) (f)	I	-	-	-	-	-
	II	E1 (g)	E1 (g)	E2	E2	(h)
	III	E2	E2	E3	E3	(h)
	IV	X	E4	X	E4	(d)
Tôles profilées en acier	I	(i)	(i)	-	-	-
	II	E1 (g)	E1 (g)	E2	E2	(h)
	III	E2	E2	E3	E3	(h)
	IV	X	E4	X	E4	(d)
Panneaux sandwichs autoportants	I - III IV	Voir § 6.2.2 Non autorisé				

(a) Afin d'éviter un "effet de pompage" résultant de l'action du vent, 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'un 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), d'épaulements sur les quatre bords et 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 joint entre les panneaux, ainsi que les raccords avec les rives de toiture (voir NIT 191) soient rendus étanches à l'air
- en rendant étanches à l'air les joints entre les éléments d'un plancher de toiture.

(b) Pour la rénovation des toitures avec un plancher de toiture étanche à l'air en béton sec, on ne prévoit pas de pare-vapeur dans les classes de climat intérieur I, II et III.

(c) Dans les classes de climat intérieur I, II et III, on ne pose pas d'écran pare-vapeur complémentaire sur les planchers de toiture en béton léger (p. ex. béton cellulaire) sans couche d'isolation thermique complémentaire, si la membrane d'étanchéité est adhérente ou lestée. Dans le cas contraire, il est nécessaire de rendre étanches les joints entre les éléments en béton. Dans des climats de la classe IV, une condensation résiduelle annuelle peut entraîner des dégâts aux éléments (corrosion des armatures, p. ex.), de sorte qu'une isolation thermique complémentaire posée sur un pare-vapeur non perforé est indispensable.

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

(e) Préalablement au collage d'un isolant thermique au moyen de bitume sur un plancher en bois, les joints (y compris le joint périphérique) sont rendus étanches au moyen d'une membrane du type P 150/16. Lorsque les joints de cette membrane sont collés, celle-ci peut être assimilée à un pare-vapeur de la classe E2.

(f) Lorsque l'isolation est posée sur un panneautage, les joints de ce dernier ainsi que les joints aux rives sont rendus étanches par la pose d'une bande de "pontage".

(g) 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.

(h) La pose d'un écran pare-vapeur n'est pas requise, si les joints entre les panneaux d'isolation sont entièrement remplis de bitume (voir l'ATG pour cette application).

(i) Dans le cas d'une isolation en PF, on pose une couche de désolidarisation continue.

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

(*) Voir § 8.2.2.2, p. 54.

Tableau 14
Classes de pare-vapeur pour les toitures chaudes. Les valeurs du tableau constituent des données de conception moyennes; elles peuvent servir de solutions alternatives aux calculs plus détaillés.

nuelle 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 selon la méthode de Glaser (voir [6])
- ◆ nous avons utilisé les données climatiques enregistrées à Uccle (voir [6])
- ◆ nous avons considéré des toitures moyennement exposées au soleil (les calculs tiennent compte

des paramètres suivants : pente équivalente de toiture : 45°, orientation : nord, coefficient d'absorption : 1). Signalons qu'une toiture horizontale 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

- ◆ pour la classe de pare-vapeur, nous avons utilisé la limite inférieure de l'épaisseur équivalente de diffusion définie
- ◆ pour l'évaluation des quantités de condensation, nous avons utilisé les données reprises dans l'Annexe 3 (p. 95) et avons considéré qu'une condensation résiduelle annuelle n'était pas tolérée.

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 raccordements.

6.3.1 TYPES DE PARE-VAPEUR

Pour la fixation au support (éventuellement en même temps que l'isolation), 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 14 ainsi qu'en fonction des techniques de pose de l'isolation et de l'étanchéité.

6.3.2 TYPE DE SUPPORT - PLANCHER DE TOITURE

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

- ◆ tous les supports, à l'exception des tôles profilées en acier et des planchers en bois :
 - pose en indépendance : 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.
- En principe, en présence d'un pare-vapeur bitumineux, il faut commencer par appliquer un vernis d'adhérence. Lorsque le plancher est composé d'éléments fractionnés, on pose au préalable des bandes en indépendance sur les joints du plancher.
- Si l'on veut utiliser l'écran pare-vapeur comme étanchéité provisoire (parfois pendant plusieurs mois), il faut prévenir toute formation de cloques entre le pare-vapeur et le support (humide) en le posant par collage partiel (diminution de la résistance au vent)

- ◆ planchers en bois :
 - écrans pare-vapeur bitumineux : ils peuvent être posés en indépendance, collés, posés au bitume chaud ou fixés mécaniquement (voir tableau 15). En cas de collage au bitume chaud, les joints entre les éléments de plancher doivent être rendus étanches afin que le bitume ne coule pas à travers ces joints.
 - Pour les classes de climat I, II et 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 thermique et/ou de l'étanchéité.
 - Pour la classe de climat IV, le pare-vapeur ne peut être perforé; il y a donc lieu, en cas de fixation mécanique de ce dernier, de prévoir le clouage d'une membrane, au minimum du type P150/16, sur laquelle le pare-vapeur pourra être collé ou soudé
 - écrans pare-vapeur synthétiques : ils sont généralement posés en indépendance sur les planches et fixés mécaniquement en même temps que l'isolation et l'étanchéité, ou lestés

- ◆ tôles profilées en acier : écrans pare-vapeur de classe E1, E2 et E3 posés en indépendance, collés, soudés ou fixés mécaniquement. Les lés sont posés parallèlement aux ondes des tôles. Tous les joints doivent être pourvus d'un recouvrement et les joints longitudinaux doivent se trouver sur la nervure supérieure du support. Pour les classes E2 et E3, 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, II et II, les perforations résultant de la pose des fixations mécaniques dans le dessus des ondes ne menacent pas de façon significative les performances d'étanchéité à l'air et à la vapeur du pare-vapeur.

Pour la classe de climat IV, le pare-vapeur sera posé par collage sur un support continu.

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.

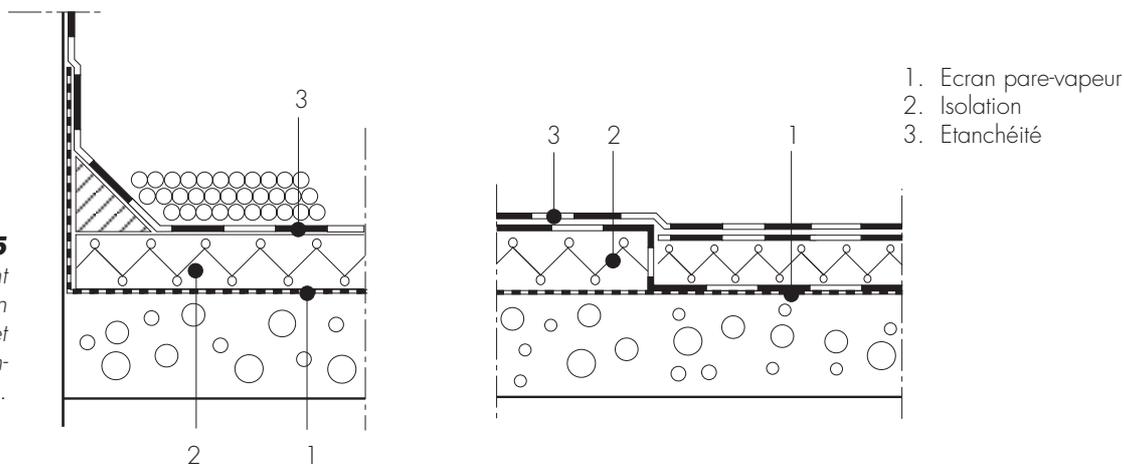
Tableau 15

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

MATÉRIAU ⁽³⁾	EN INDÉPENDANCE	BITUME (ADH. PART./TOTALE)	SOUDAGE (PART./TOT.)	COLLAGE	FIXATION MÉCANIQUE ⁽²⁾
PE (≥ 0,2 mm)	x	–	–	(x)	x ⁽¹⁾
V50/16	(x)	x	–	x	–
P150/16	x	x	–	x	x
V3, V3 SBS, V4, V4 SBS, ALU 3	x	x	x	x	–
V3 APP, V4 APP	x	–	x	x	–
P3 APP, P4 APP	x	–	x	x	x
P3, P4, P4 SBS, P3 SBS	x	x	x	x	x

(1) A fixer en même temps que l'isolation et/ou l'étanchéité.
 (2) Voir aussi le tableau 14.
 (3) Les membranes renforcées d'un voile (ou de filaments) de verre et celles renforcées d'un voile de polyester d'une épaisseur de 3 mm peuvent être considérées comme des sous-couches de type P3 APP ou P3 SBS suivant la nature du bitume modifié.
 x = autorisé (cf. également tableau 13)
 (x) = autorisé, mais peu utilisé
 – = non autorisé

Fig. 35
Raccordement de l'écran pare-vapeur et de l'étanchéité.



Avec une isolation et/ou une étanchéité fixée(s) mécaniquement, l'écran pare-vapeur peut être posé en indépendance; les considérations émises au § 7.3.4 (p. 44) sont également d'application.

Lorsque l'isolation et l'étanchéité sont posées au moyen d'une colle à froid ou de bitume à chaud, l'écran pare-vapeur doit lui aussi être collé, de manière telle que la toiture puisse reprendre les dépressions de vent.

6.3.4 RACCORDS

Au droit des rives de toiture, des relevés et des pénétrations de toiture, l'écran pare-vapeur et l'étanchéité doivent être raccordés entre eux selon les principes illustrés à la figure 35; l'isolation se trouve donc enfermée entre l'écran pare-vapeur et l'étanchéité.

Pour plus d'informations au sujet de l'exécution des détails, on consultera utilement la NIT 191 [9].



7 L'ISOLATION DE TOITURE

Lorsque la toiture est bien isolée, la transmission de chaleur et les mouvements thermiques du plancher de toiture sont limités et la formation de moisissures et de condensation superficielle est évitée. Le pouvoir isolant est déterminé par la valeur λ et par l'épaisseur de l'isolation, ainsi que par la qualité de la mise en œuvre.

L'isolation se justifie aussi bien pour des raisons d'économie d'énergie que pour des questions d'accroissement du confort thermique dans le bâtiment. Elle présente en outre un grand intérêt du point de vue écologique, non seulement grâce aux économies d'énergie qu'elle engendre, mais aussi parce qu'elle permet de réduire la pollution de l'air et la production de déchets (cendres, déchets nucléaires provenant des centrales électriques, ...). Tous les spécialistes s'accordent d'ailleurs à reconnaître qu'isoler la toiture est relativement simple et très rentable.

Pour les constructions neuves ou les rénovations avec permis de bâtir, l'isolation de toiture doit être prévue dès la phase de conception et sa mise en œuvre est relativement facile lors de la construction. Dans le cas des bâtiments existants, l'isolation "après-coup" doit être sérieusement envisagée. Elle nécessite, dans la plupart des cas, quelques adaptations. Il va sans dire qu'en cas de rénovation de l'étanchéité, on en profitera pour renforcer l'isolation.

Le permis de bâtir ou de transformer peut exiger un calcul de l'isolation thermique pour le bâtiment et la toiture, afin de satisfaire à la réglementation d'isolation imposée par la loi, c'est-à-dire en général $0,4 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ en construction résidentielle et non résidentielle en Flandre, en Wallonie et à Bruxelles.

Le matériau isolant exerce également, dans le complexe de toiture, plusieurs effets sur les autres éléments de toiture ou influence l'utilisation qui peut être faite de la toiture. Il est donc nécessaire d'aborder ces points également.

7.1 CARACTÉRISTIQUES DES MATÉRIEAUX D'ISOLATION DE TOITURE

Les matériaux d'isolation de toiture dotés d'un ATG (*) possèdent des

propriétés contrôlées.

REMARQUE

Le coefficient de transmission thermique des parois de bâtiment est calculé suivant la norme NBN B 62-002 [24]. Un futur addendum, qui sera soumis à l'enquête publique dans le courant de l'an 2000, présentera une nouvelle méthode européenne de calcul de la valeur déclarée et de la valeur de calcul de la conductivité thermique des produits d'isolation.

L'édition revue des Spécifications techniques unifiées STS 08.82 [34] fixe des exigences d'utilisation pour différentes applications comme, par exemple, pour les toitures chaudes et les toitures inversées. Les valeurs U (ou valeurs k) sont calculées conformément au Feuillet d'information 97/2 de l'UBAtrc traitant des systèmes d'isolation thermique.

7.1.1 POUVOIR ISOLANT [11]

7.1.1.1 LA VALEUR λ

Le coefficient de conductivité thermique d'un matériau (λ), exprimé en $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, est la quantité de chaleur qui traverse, en régime stationnaire, une couche de matériau de 1 m d'épaisseur et de 1 m^2 de section, par unité de temps et par degré de différence de température entre les deux faces de ce matériau.

La valeur λ , ou λ_D pour les matériaux isolants, est une valeur déclarée (*declared value*). Elle est déterminée de manière statistique sur la base de mesures et est établie par le fabricant qui s'engage contractuellement à la respecter. Si le matériau isolant ne possède pas de valeur λ_D déterminée statistiquement, on tient compte de la valeur λ_U forfaitaire (plus élevée) normalisée (addendum 1, norme NBN B 62-002 [25]).

(*) Nous entendons par là les ATG des matériaux isolants pour toitures chaudes ou toitures inversées. L'agrément de produit ATG H ne se prononce pas sur l'application, mais uniquement sur les propriétés d'isolation thermique.

7.1.1.2 LA VALEUR R DU MATÉRIAU ISOLANT ET DE LA TOITURE

La résistance thermique R d'une couche de matériau, exprimée en (m².K)/W, est déterminée par le rapport épaisseur/valeur λ (d/λ). Toutefois, pour calculer la résistance (R_n) d'une couche d'isolation spécifique, on diminue forfaitairement la résistance thermique du matériau isolant de 0,1 (m².K)/W. La résistance totale R_{tot} d'une toiture chaude se calcule comme suit :

$$R_{tot} = \frac{1}{h_e} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \left(\frac{d_{isol}}{\lambda_{isol}} - 0,1 \right) + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_i}$$

où h_e = coefficient de transmission thermique entre la toiture et l'environnement extérieur; h_e = 23 W/(m².K)

d_n = épaisseur de la couche 'n' (m)

λ_n = valeur λ de la couche 'n' (W/(m.K)); dans le cas de matériaux isolants, elle est appelée λ_D (ou λ_v)

h_i = coefficient de transmission thermique entre la toiture et l'ambiance intérieure; h_i = 8 W/(m².K)

0,1 = valeur forfaitaire de correction ((m².K)/W) tenant compte des tolérances dimensionnelles et des tolérances de pose [4].

7.1.1.3 LA VALEUR U (AUTREFOIS APPELÉE VALEUR k)

Le coefficient de transmission thermique d'une paroi isolée ou d'une toiture (U), exprimé en W/(m².K), indique la quantité de chaleur qui traverse 1 m² de paroi ou de toiture par degré de différence de température entre l'intérieur et l'extérieur et par unité de temps.

La valeur U d'une toiture chaude (*) est égale à :

$$U \text{ (W/(m}^2\text{.K))} = \frac{1}{R_{tot}}$$

Pour connaître la valeur U réelle des toitures inversées, on consultera l'ATG correspondant et la référence bibliographique n° 3.

7.1.1.4 EXEMPLE

Pour une toiture chaude ayant :

- ◆ un plancher en béton de 150 mm d'épaisseur (λ = 2,6 W/(m.K))

- ◆ un écran pare-vapeur de 3 mm d'épaisseur (λ = 0,2 W/(m.K))
- ◆ un matériau isolant de 60 mm d'épaisseur (λ_D = 0,035 W/(m.K))
- ◆ une étanchéité de 8 mm d'épaisseur (λ = 0,2 W/(m.K)),

la valeur R est égale à :

$$R_{tot} = \frac{1}{23} + \frac{0,150}{2,600} + \frac{0,003}{0,200} +$$

$$\left(\frac{0,060}{0,035} - 0,1 \right) + \frac{0,008}{0,200} + \frac{1}{8}$$

$$R_{tot} = 0,043 + 0,058 + 0,015 + (1,714 - 0,1) + 0,040 + 0,125 = 1,895.$$

On peut en déduire la valeur U :

$$U = \frac{1}{1,895} = 0,53 \text{ W/(m}^2\text{.K)}.$$

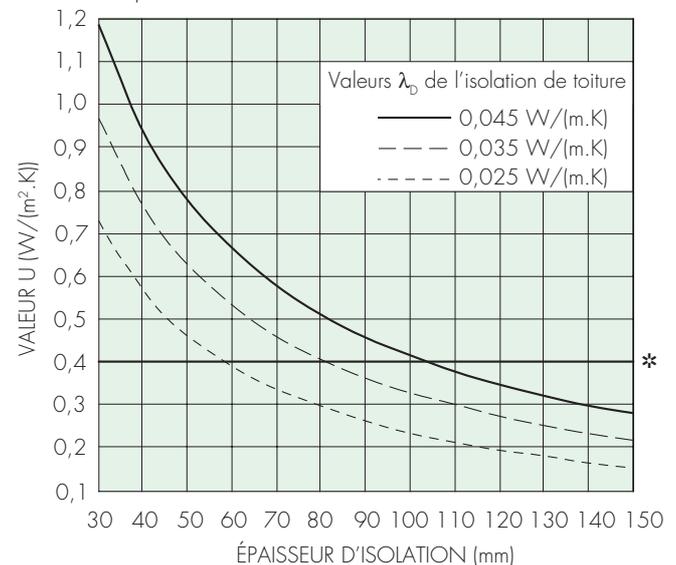
Cet exemple montre que la valeur U d'une toiture est déterminée à 90 % (1,714/1,895) par la couche isolante. Une toiture en béton non isolée a une valeur U d'environ 5,5 W/(m².K), ce qui correspond à une transmission de chaleur considérablement plus élevée à travers la toiture.

La figure 36 donne les valeurs U des toitures présentant une isolation de 30 à 150 mm d'épaisseur et des valeurs λ_D de 0,025; 0,035 et 0,045 W/(m.K).

7.1.2 COHÉSION INTERNE

Comme nous l'avons signalé au § 2.1.2 (p. 6), le vent exerce, sur une toiture plate, un effet de suc-

Fig. 36 Coefficient de transmission thermique d'une toiture isolée avec plancher en béton.



* limite supérieure de la plupart des règlements thermiques

(*) Pour les toitures inversées, on consultera l'article paru dans CSTC-Magazine n° 2 de 1997 [5].

cion qui peut être très élevé, surtout au droit des rives et des coins. En outre, en présence d'un plancher de toiture perméable à l'air (p. ex. tôles profilées en acier, béton cellulaire ou bois) ou de rives raccordées à des murs perméables à l'air (parements de façade métalliques, par exemple), une pression supplémentaire s'exerce de l'intérieur vers l'extérieur.

La résistance au vent d'un complexe de toiture dépend fortement de l'interaction des forces entre les différents éléments qui le composent (plancher/pare-vapeur/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.-à-d. généralement l'étanchéité. Lorsque l'étanchéité est en adhérence totale ou partielle, l'effet de succion du vent se transmet aux couches sous-jacentes. Une bonne adhérence est donc importante, surtout aux endroits très exposés (rives de toiture et coins). En présence d'étanchéités collées sur une couche d'isolation, c'est avant tout le matériau isolant qui est mis à l'épreuve; sa résistance mécanique (cohésion) devient alors souvent déterminante.

7.1.3 MOUVEMENTS THERMIQUES

Une toiture plate peut être soumise à des fluctuations très importantes de température. Celles-ci entraînent non seulement des tensions superficielles au droit de l'étanchéité (dilatation/retrait), mais elles provoquent également un gradient de température dans le matériau d'isolation (figure 11, p. 17), ce qui peut impliquer un risque de déformation. La plupart des panneaux isolants étant peu rigides, une fixation appropriée peut empêcher ce phénomène.

Il faut donc choisir un type de panneau et un mode de pose des étanchéités tels que les mouvements susmentionnés ne puissent pas provoquer de dommages (chapitre 8).

7.1.4 STABILITÉ DIMENSIONNELLE

Les ATG des produits et les méthodes de mise en œuvre imposent des limitations quant au retrait ultérieur de l'EPS et au cintrage du PUR/PIR/PF (§ 7.2).

7.1.5 TEMPÉRATURE DE MISE EN ŒUVRE

Les mousses synthétiques ne résistent pas toujours à la température du bitume chaud ou aux températures élevées de l'air chaud ou d'une flamme di-

recte (fonte de l'isolant, détachement du parement, boursoufflures dans l'étanchéité). Pour parer à ces phénomènes, il convient d'utiliser des parements appropriés et de poser correctement l'étanchéité : adhérence partielle ou pose en indépendance, fixation mécanique ou collage à froid.

Les prescriptions de pose mentionnées dans l'ATG du matériau d'isolation de toiture doivent être rigoureusement suivies.

7.1.6 COMPORTEMENT AUX SOLLICITATIONS MÉCANIQUES

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

- ◆ sollicitations statiques réparties (p. ex. lestage)
- ◆ sollicitations statiques concentrées (p. ex. plots)
- ◆ sollicitations dynamiques concentrées (p. ex. circulation, chocs provoqués par la chute d'objets et la grêle).

La résistance de l'isolation à ces sollicitations doit être évaluée en tenant compte des propriétés mécaniques de l'étanchéité.

La résistance d'une toiture à la compression ne dépend pas uniquement de la résistance à la compression de l'isolation, mais également de la composition spécifique de la toiture : support/pare-vapeur/isolation/étanchéité de toiture. On spécifie habituellement la résistance à la compression de l'isolation de toiture selon le classement de l'UEAtc, c'est-à-dire par les lettres B, C, D [49] (voir tableau 16).

En pratique, on exige des matériaux de classe C ou D lorsqu'on peut s'attendre à une circulation en toiture à des fins d'entretien. 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 de l'isolation.

CLASSE	DÉFORMATION (%)	TEMPÉRATURE (°C) (*)	SOLLICITATION (kPA)
A (**)	≤ 10 % ≤ 15 %	23 et 80 (60)	20 20
B	≤ 5 %	80 (60)	20
C	≤ 5 %	80 (60)	40
D	≤ 5 %	80 (60)	80

(*) 60 °C au lieu de 80 °C sur les toitures à couche de protection lourde.
(**) Non applicable pour une toiture plate.

On prendra également des dispositions pendant les travaux en toiture (travaux d'étanchéité et autres), afin de ne pas endommager les panneaux d'isolation (ni l'étanchéité) – chemins de circulation, p. ex. Le transport et l'entreposage de matériaux directement sur les panneaux d'isolation sont à éviter.

L'isolation remplit une fonction porteuse sur les tôles profilées en acier en pontant les ouvertures des nervures (§ 4.2.2.4, p. 24). Les sollicitations mécaniques soumettent dès lors les panneaux d'isolation à des contraintes supplémentaires.

7.1.7 COMPORTEMENT AU FEU

On trouvera les propriétés en matière de comportement au feu au § 2.2 (p. 14).

7.1.8 COMPORTEMENT EN PRÉSENCE D'HUMIDITÉ

La présence d'humidité dans le matériau isolant entraîne une diminution de son pouvoir isolant et, occasionnellement, une diminution de sa cohésion ainsi que d'autres caractéristiques mécaniques. Il convient donc d'éviter toute humidification, car le séchage qui s'ensuit est très lent. On ne peut jamais poser une isolation de toiture humide.

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

- ◆ par la pluie pendant l'entreposage et la pose : il faut en toutes circonstances éviter que l'eau de pluie n'atteigne les matériaux, en les protégeant pendant le stockage et en posant immédiatement l'étanchéité sur le matériau isolant avant chaque interruption de travail
- ◆ par des fuites occasionnelles : si des fuites devaient se produire malgré la pose correcte de bons matériaux d'étanchéité, elles devront être réparées au plus vite; le cas échéant, on remplacera l'isolation humide.
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 (figure 32, p. 29)
- ◆ par l'humidité de construction et/ou la condensation interne (*): une différence de pression de vapeur ou une circulation d'air occasionnent un transport de vapeur d'eau. L'ampleur de ces phénomènes ainsi que la formation ou non de condensation interne sont déterminées par la

composition de toiture, le climat intérieur et extérieur, et la quantité d'humidité de construction présente dans la structure portante.

Si l'isolation est posée sur un plancher renfermant beaucoup d'humidité de construction (béton, béton léger, ...), il faut prévoir un écran pare-vapeur pour éviter l'humidification de l'isolant par condensation interne.

Une toiture formée de tôles profilées en acier peut, elle aussi, contenir beaucoup d'humidité à cause de l'eau présente dans les nervures. Il convient de prendre les dispositions nécessaires pour permettre à cette eau de s'évacuer (p. ex. percement au point le plus bas).

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 résultante 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 résultante, un écran pare-vapeur s'impose (voir chapitre 6).

De plus, une isolation insuffisante peut engendrer des problèmes de condensation et/ou de moisissures :

- ◆ *condensation superficielle* : si l'isolation est insuffisante, il arrive que la température superficielle de la face chaude de la toiture soit inférieure au point de rosée de l'air intérieur, ce qui provoque une condensation superficielle
- ◆ *humidité relative* : la formation de moisissures dépend de la présence de spores dans l'air, de la disponibilité d'oxygène, de la température, de la présence de nutriments dans la couche de finition et de l'accessibilité suffisante de l'humidité pour les moisissures. Dans les bâtiments, seule la condition de l'humidité est critique. La quantité d'humidité nécessaire à la formation de moisissures diffère d'une espèce de moisissure à l'autre. Une humidité relative moyenne de 80 % à la surface intérieure suffit pour que se développent trois des espèces de moisissures les plus fréquentes (*Aspergillus*, *Cladosporium* et *Penicillium*). Lorsque la température superficielle chute, l'humidité relative de l'air augmente, de même que, de ce fait, la teneur en humidité hygroscopique des matériaux de finition. Les moisissures n'ont donc pas absolument besoin de condensation superficielle. La toiture inversée (§ 3.2) constitue un cas particulier, en ce sens que le matériau d'isolation approprié (avec ATG) est exposé à la pluie et à l'écoulement d'eau de pluie sous-jacent.

(*) Pour plus d'informations sur la condensation interne, on consultera la référence bibliographique n° 6.

7.2 PANNEAUX D'ISOLATION DE TOITURE

Nous considérons ici les matériaux d'isolation de toiture dont la valeur λ_D déclarée est tout au plus égale à 0,065 W/(m.K) et

qui disposent d'un agrément technique avec certificat (ATG). Leur pose doit être strictement conforme à l'agrément technique.

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

On distingue les groupes de matériaux suivants :

- ◆ les *mousses synthétiques* à cellules en majorité fermées :
 - polyuréthane (PUR) et polyisocyanurate (PIR)
 - mousse phénolique (PF)
 - polystyrène expansé (EPS)
 - polystyrène extrudé (XPS)
- ◆ les *matériaux minéraux* :
 - laine minérale (MW) : sur une toiture plate, on rencontre uniquement la laine de roche (MWR)
 - verre cellulaire (CG)
 - perlite expansée (EPB)
- ◆ les *matériaux d'origine végétale* : liège (ICB)
- ◆ les *matériaux d'isolation composites*, composés d'au moins deux des matériaux susmentionnés, avec ou sans armature.

Ces matériaux ont chacun leurs propriétés typiques qui les destinent à certaines applications plutôt qu'à d'autres, comme il est expliqué plus loin. Tant la fabrication que la pose de l'isolation et de l'étanchéité sont déterminantes dans ce cadre. Certaines applications spécifiques exigent donc que l'on consulte les agréments techniques des matériaux d'isolation de toiture. Une toiture efficace se compose de matériaux possédant un ATG particulier pour l'application en toiture et dont l'aptitude pour cette application ne fait donc aucun doute.

7.2.1 MOUSSES SYNTHÉTIQUES

7.2.1.1 PUR/PIR

Le polyuréthane se caractérise par son pouvoir isolant élevé ($\lambda_D \approx 0,020$ à $0,029$ W/(m.K)). On trouve la valeur λ_D à utiliser dans l'agrément technique correspondant.

Les panneaux en PUR pour toitures plates sont toujours parementés. Sur les étanchéités bitumineuses collées, ce parement se compose le plus souvent d'un voile de verre bitumé. On prévoit généralement, sous les étanchéités synthétiques et les étanchéités fixées par un procédé mécanique, un sous-

façage d'aluminium (ou un voile de verre enduit).

La cohésion interne du PUR (§ 7.1.2, p. 37) est élevée en soi, mais la plupart des étanchéités bitumineuses sont collées en adhérence partielle sur le PUR (p. ex. pose préalable d'un voile de verre bitumineux perforé). C'est le cas pour les étanchéités posées à chaud (par soudage à la flamme ou par collage au bitume chaud), qui nécessitent une adhérence partielle en raison de la température élevée de mise en œuvre.

Le gauchissement des panneaux est limité lorsqu'on utilise des produits et des méthodes de pose avec ATG, car la fabrication se fait avec un parementage adapté et contrôlé. La stabilité dimensionnelle est également favorablement influencée par l'utilisation de panneaux de plus petites dimensions.

Lorsqu'on s'attend à de fortes dépressions de vent, il est possible d'obtenir une plus grande résistance au vent soit en collant la première couche de l'étanchéité en adhérence totale à l'aide d'une colle bitumineuse à froid, soit par un collage partiel par traits en zigzag de la couche perforée, soit en la fixant par un procédé mécanique.

Les panneaux de polyisocyanurate (PIR) peuvent présenter un meilleur comportement au feu que le PUR. Un panneau PIR spécialement conçu à cet effet permet de combiner un comportement au feu amélioré et un coefficient de conductivité thermique $\lambda_D \approx 0,020$ W/(m.K).

7.2.1.2 EPS

La mise en œuvre du polystyrène expansé ($\lambda_D \approx 0,033$ à $0,040$ W/(m.K)) dans une toiture plate chaude exige certaines précautions, dont la principale consiste à utiliser des panneaux suffisamment stables (retrait résiduel), comme prévu dans les ATG spécifiques des toitures. Sur les toitures plates, on applique uniquement des panneaux en EPS présentant un comportement amélioré au feu de qualité dite SE.

Le retrait résiduel est limité lorsqu'on a recours à des produits et à des méthodes de pose disposant d'un ATG, car on utilise dans ce cas des matières premières spécifiques et/ou parce que les panneaux ont été entreposés suffisamment longtemps en milieu contrôlé avant 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.

7.2.1.3 XPS

Le polystyrène extrudé ($\lambda_p \approx 0,027$ à $0,034$ W/(m.K) selon le mode de soufflage) se caractérise par une structure cellulaire fermée et une surface d'extrusion qui empêche l'absorption d'humidité. Ce matériau ne s'applique que dans les toitures inversées (§ 3.2), pour lesquelles il existe également des ATG. Toutefois, l'ATG ne prévoit pas d'application du XPS pour les toitures chaudes.

7.2.1.4 PF

Un panneau à base de mousse phénolique possède une structure cellulaire fermée, un bon comportement au feu et un faible coefficient de conductivité thermique ($\lambda_p \approx 0,020$ à $0,025$ W/(m.K)). L'ATG correspondant n'autorise que les étanchéités de toiture lestées ou fixées mécaniquement; les prescriptions de pose doivent être suivies scrupuleusement, en particulier en ce qui concerne l'humidification de l'isolation pendant la mise en œuvre et par condensation interne (risque de corrosion de la fixation).

Le gauchissement des panneaux est limité lorsqu'on utilise des produits et des méthodes de pose avec ATG, car la fabrication se fait avec un parement adapté et contrôlé. La stabilité dimensionnelle est également favorablement influencée par l'utilisation de panneaux de plus petites dimensions.

7.2.2 MATÉRIAUX D'ORIGINE MINÉRALE

7.2.2.1 MW

Les panneaux d'isolation de toiture en laine de roche ($\lambda_p \approx 0,032$ à $0,041$ W/(m.K)) se caractérisent par un comportement favorable au feu et une bonne stabilité thermique.

Leurs performances mécaniques et leur résistance au vent dépendent de leur masse volumique, de la qualité de la fabrication (orientation des fibres), des différentes finitions (parementage en voile de verre, voile de verre bitumé, imprégnation de bitume), ainsi que de la technique de pose de l'isolation et de l'étanchéité (voir ATG).

On prêtera une attention particulière à la compressibilité/circulabilité et à la résistance au délaminage, qui dépendent fortement du produit.

7.2.2.2 CG

Le verre cellulaire ($\lambda_p \approx 0,040$ à $0,048$ W/(m.K)) se caractérise par sa grande résistance à la compres-

sion et son étanchéité élevée à la vapeur. Il n'exige habituellement pas d'écran pare-vapeur (tableau 14), à condition que le matériau soit enrobé de bitume sur toutes ses faces. L'obtention de cette qualité est toutefois conditionnée par le soin apporté à la pose.

La friabilité du verre cellulaire ne pose pas de problème lorsqu'il est appliqué sur un support rigide doté d'une finition lisse et que l'entrepreneur d'étanchéité prévoit une quantité suffisante de bitume en dessous et au-dessus du verre cellulaire, ainsi qu'entre les joints.

On limitera la flexion d'une structure porteuse en tôles profilées en acier pour éviter la rupture du CG (voir ATG).

7.2.2.3 EPB

Les panneaux d'isolation de toiture à base de perlite expansée ($\lambda_p \approx 0,052$ à $0,055$ W/(m.K)) se caractérisent par une résistance élevée à la compression et un bon comportement au feu. La résistance au vent d'un complexe toiture comprenant des panneaux de perlite est déterminée par la technique de pose de l'isolation et de l'étanchéité (collage/fixation mécanique).

Une condensation éventuelle à la surface de contact perlite/étanchéité peut interrompre la cohésion interne de l'isolant et diminuer la résistance au vent.

7.2.3 AUTRES MATÉRIAUX D'ISOLATION

Le liège (ICB) ($\lambda_p \approx 0,045$ W/(m.K)) est un matériau d'isolation naturel d'origine végétale. Sur des tôles profilées en acier, son épaisseur doit être au moins égale aux 2/3 de l'ouverture des nervures.

Outre les panneaux de perlite, il existe également un système de granulats de perlite liés au bitume, tel que décrit au chapitre 5 (p. 26).

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 ponts thermiques, de l'écran pare-vapeur, etc. Ils ne seront pas étudiés davantage dans le cadre de la présente NIT (voir ATG).

Il existe par ailleurs des systèmes d'isolation en

Tableau 17

Isolation de toiture avec agrément technique (situation au moment de la rédaction de la présente NIT).

N° D'ATG	MARQUE	MATÉRIAU D'ISOLATION	FIRME
1575	Eurothane Bi3, Bi3A, S, AI, E	PUR	Recticel
1805	Cevotherm GG, Cevotherm PG	PUR	Opstalan
2014	Nestaan Yellow	PUR	Recticel
2064	Vapotherm PU, Vapotherm PE	PUR	Ecotherm
2243	Selthaan PU, Selthaan PE	PUR	Ecotherm
2262	Eurothane Powerdeck 20 et 24	PIR	Recticel
1901	Ultragard 300 D	PF	Sitek Thermal Ceramics
2235	Isobouw V	EPS	Isobouw Systems
2356	Knauf therm	EPS	Knauf Isol B.V.
1472	Styrodur	XPS	Basf Belgium
1546	Roofmate SL + PD	XPS	Dow Benelux
1823	Vebofoam 3000	XPS	Vebofoam
1976	Isofoam X3, X4	XPS	Sirap Gema
2256	Styrodur LDE	XPS	Basf Belgium
1673	Panotoit Quadro, 293 K, 293 FI	MW	Isover
2146	Taurox C	MW	Rockwool Lapinus
2147	Taurox D et D-c	MW	Rockwool Lapinus
2282	Taurox Duo et Eco	MW	Rockwool Lapinus
2353	Paroc	MW	Partek Paroc OY
1626	Foamglas T4, T4 WDS, S3	CG	Pittsburgh Corning Europe
2078	Foamglas Ready Board	CG	Pittsburgh Corning Europe
2121	Foamglas	CG	Pittsburgh Corning Europe
1697	Fesco Board V, Fesco Board S	EPB	Sitek Thermal Ceramics
1699	Pirotherm	isolation + mortier léger	Pirobouw
1966	Fim	isolation + mortier léger	Fim
2206	Perlton et Perlton H	isolation + mortier léger	Verhoeven Isolatietechniek

Remarque : une version actualisée de ces informations peut être consultée sur le site Internet de l'UBAtc : <http://www.ubatc.be>, qui mentionne également les valeurs λ_D effectives.

polyuréthane que l'on projette directement sur la toiture. Pour protéger l'isolation des dégradations causées par la pluie et le rayonnement solaire (UV), l'ensemble est parachevé à l'aide d'un système de peinture projeté. Les performances de ces systèmes dépendent fortement du soin apporté à leur mise en œuvre, des conditions de pose et de l'état de surface de leur support. Il faut également tenir compte d'un entretien approprié. Le système ne bénéficie pas d'un agrément technique délivré par l'UBAtc.

7.2.4 MATÉRIEAUX D'ISOLATION DISPOSANT D'UN AGRÉMENT TECHNIQUE

La procédure d'agrément technique a été instaurée afin de permettre une évaluation indépendante de la qualité et des possibilités de mise en œuvre d'un matériau, en se basant sur ses performances et après examen de réalisations existantes. En Belgique, l'agrément technique est délivré par le ministère

des Communications et de l'Infrastructure (MCI) après examen par l'Union belge pour l'agrément technique dans la construction (UBAtc), qui se compose de représentants de la Direction Agrément et Spécifications du ministère des Communications et de l'Infrastructure, de SECO et du CSTC.

Le tableau 17 dresse une liste des matériaux d'isolation disposant d'un agrément technique au moment de la rédaction de la présente Note d'information technique. Ces agréments sont en principe valables pour une période de trois ans.

7.3 POSE DE L'ISOLATION

Avant de procéder à la pose de l'isolation, on placera le cas échéant un écran pare-vapeur (chapitre 6).

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.

Tableau 18 Aperçu des méthodes courantes de pose de l'isolation.

SUPPORT	TOITURE CHAUDE					TOITURE INVERSÉE
	PUR, PIR, EPS	PF	CG	EPB	MW	XPS
Béton, béton de pente, béton cellulaire, pare-vapeur bitumineux ou étanchéité	B, C	L	B	B	B, C, Cs	L
Copeaux de bois agglomérés au ciment	B (2)	L	B (2)	B (2)	B (2)	L
Multiplex, panneaux de particules	B (2), C, V	V (1)	B (2)	B (2), V	B (2), V	L
Planches en bois	V	V (1)	B (3)	V	V	L
Tôles profilées en acier	V	V (1)	B	V	V, Cs	/

B : bitume chaud
 C : colle bitumineuse à froid
 Cs : colle synthétique
 V : fixation mécanique par vis
 L : pose en indépendance (étanchéité lestée)
 (1) Sur une isolation en PF, l'étanchéité de toiture est fixée mécaniquement et les vis doivent être au minimum conformes à la classe de résistance à la corrosion 2 (selon l'essai de l'UEAtc constitué de 12 cycles Kesternich) ou être en acier inoxydable. Il convient de poser une couche de désolidarisation continue.
 (2) Les joints entre les panneaux doivent avoir été préalablement rendus étanches.
 (3) On cloue d'abord une couche P 150/16 au minimum.

La pose de l'isolation en deux couches est surtout réservée aux grosses épaisseurs (> 150 mm). L'application en deux couches avec joints alternés limite le pont thermique des joints et des fixations mécaniques (fixation mécanique de la première couche et pose de la deuxième couche en adhérence).

Le mode de pose de l'isolation dépend essentiellement de la composition de toiture (plancher, écran pare-vapeur, isolation, étanchéité et couche de protection) ainsi que des actions du vent.

Quelle que soit la technique de pose, il faut placer (la première couche de) l'étanchéité immédiatement après avoir posé l'isolation, ce qui signifie qu'à la fin de la journée de travail, l'isolation doit être complètement protégée (figure 32, p. 29).

En présence de tôles profilées en acier, l'épaisseur de l'isolant, l'ouverture de la nervure et la rigidité des tôles profilées doivent être compatibles (pour les tôles profilées en acier, voir § 4.2.2.4, p. 24).

7.3.1 COLLAGE AU BITUME CHAUD (B)

L'adhésif le plus couramment employé est le bitume chaud soufflé 85/25 ou 110/30, tout au moins

dans le cas des étanchéités bitumineuses. En général, un vernis d'adhérence est appliqué préalablement sur le support (§ 8.2.4.1, p. 57).

La pose consiste à couler une couche de bitume sur toute la surface du support (plancher 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, c.-à-d. avant que le bitume ne durcisse et ne perde son pouvoir adhérent.

Le bitume convient cependant moins bien pour une application sur tôles profilées en acier (refroidissement rapide du bitume d'adhérence, surtout par temps froid). Le verre cellulaire permet 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, laquelle a été pourvue d'un vernis d'adhérence.

Le bitume ne convient pas non plus aux supports constitués de planches, à moins d'y avoir cloué au préalable une membrane armée de polyester pour éviter que le bitume ne s'infilte entre les joints.

7.3.2 POSE À LA COLLE BITUMINEUSE 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 (préalablement dépoussiéré et dégraissé), de l'isolation et de l'action du vent sur la toiture. On suivra les prescriptions du fabricant de la colle et de l'ATG correspondant.

Les colles bitumineuses à froid sont appliquées sur le support soit sur toute la surface, soit par points ou par bandes régulièrement répartis. On prévoit, par exemple, quatre bandes continues de 60 mm de large par mètre (24 % de la surface). Dans les zones de rive et de coin ainsi que sur les toitures fortement exposées, il faut soit prévoir une surface de collage plus étendue, soit opter pour une fixation mécanique ou un lestage (il y a lieu de consulter l'ATG correspondant en ce qui concerne la résistance au vent).

Les colles à froid restent longtemps plastiques sous le matériau isolant, de sorte que celui-ci risque de glisser sur le support. Cela peut donner lieu au "déplacement" de l'isolation, en particulier lorsque le plancher est déformable (tôles profilées en acier) et que la mousse synthétique peut subir un retrait. Dans ce cas, on ne peut donc pas se contenter de poser l'isolant au moyen de colle bitumineuse à froid. Un complément de fixations mécaniques doit empêcher l'isolation synthétique et l'étanchéité de toiture de se déplacer (voir l'ATG de l'isolation de toiture).

Lorsqu'on utilise des colles à froid, il faut toujours vérifier la compatibilité du support, de la colle et de l'isolation de toiture, ainsi que la résistance au vent utile (résultat de l'essai au vent dans un caisson sur l'ensemble du complexe de toiture - voir ATG).

7.3.3 POSE À LA COLLE SYNTHÉTIQUE À FROID (Cs)

Les directives des fabricants et de l'ATG (en matière de température, d'humidité, etc.) doivent être scrupuleusement respectées lors de la pose. Ainsi, l'expansion de la colle, favorisée entre autres par l'humidité de l'air et la température, doit être possible avec une colle monocomposant.

La pose s'effectue généralement en adhérence partielle (par bandes) selon les prescriptions du fabricant de la colle et/ou du fabricant de l'isolation. Il s'agit d'assemblages rigides ou élastiques, qui évitent tout phénomène de déplacement de l'isolation (§ 7.3.2).

7.3.4 FIXATION MÉCANIQUE (V)

Cette technique de pose est, en principe, possible sur n'importe quel support, mais elle s'applique en pratique le plus souvent sur les matériaux en bois et surtout sur les tôles profilées en acier, pour lesquels cette méthode convient le mieux. L'isolation doit à cet effet posséder une résistance suffisante à la flexion et au poinçonnement (§ 4.2.2.4, p. 24). Cette méthode convient pour tous les matériaux d'isolation, sauf pour le verre cellulaire, qui ne peut être posé que dans du bitume chaud.

La technique utilisée consiste à poser l'isolation en indépendance sur le support (plancher de toiture ou écran pare-vapeur) et à la fixer à l'aide de plaquettes de répartition et de vis autoforantes. Les plaquettes de répartition et les vis doivent être compatibles avec les propriétés mécaniques de l'isolation (p. ex. pour éviter que les plaques de répartition ne s'enfoncent lorsqu'on circule sur l'isolation souple ou que l'enfoncement des plaques dans une isolation rigide ne provoque une importante précontrainte).

Le nombre de points de fixation est déterminé par calcul et dépend de l'action du vent, des propriétés mécaniques du panneau d'isolation, de la présence d'un écran pare-vapeur, des dimensions de l'ancrage et du type de vis.

On distingue trois méthodes de mise en œuvre :

- ◆ fixation mécanique des panneaux d'isolation et collage ou soudage de l'étanchéité (fig. 37A)
- ◆ fixation mécanique de la sous-couche de l'étanchéité et collage ou soudage de la couche de finition (fig. 37B)
- ◆ fixation mécanique d'une étanchéité monocouche dans les joints collés ou soudés (fig. 37C).

Au droit des rives et des coins de la toiture, il convient de prévoir un plus grand nombre de fixations qu'en partie courante. Sur les zones fortement exposées de la toiture et surtout sur les isolations sensibles au délaminage (§ 2.1.2, p. 6), il peut être indiqué d'appliquer des fixations supplémentaires après avoir posé une sous-couche armée de polyester sur l'isolation (figure 37B).

Si l'on fixe mécaniquement l'étanchéité dans les joints (figure 37) tout en utilisant des lés plus larges que les panneaux d'isolation, certaines rangées de panneaux ne seront pas fixées, ou le seront insuffisamment. Il faut donc prévoir des fixations supplémentaires, tout au moins s'il s'agit d'une isolation étanche à l'air ou d'un écran pare-vapeur.

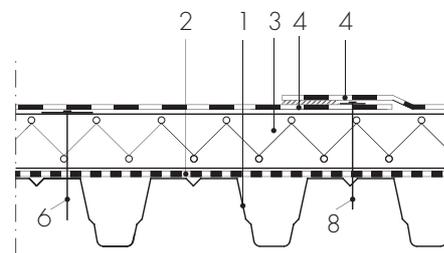
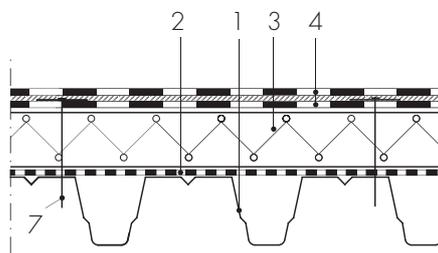
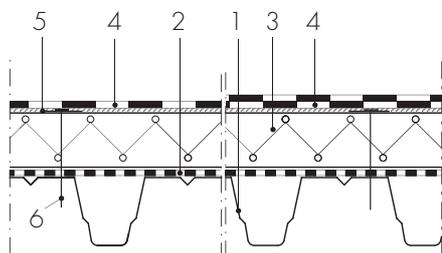
La répartition idéale des vis sur le panneau d'isolation est illustrée à la figure 38. Grâce à cette disposition, les moments dans les parties courantes se-

Fig. 37 Fixation mécanique d'une toiture chaude sur tôles profilées en acier.

A. FIXATION MÉCANIQUE DES PANNEAUX D'ISOLATION ET COLLAGE OU SOUDAGE DE L'ÉTANCHÉITÉ

B. FIXATION MÉCANIQUE DE LA SOUS-COUCHE ET COLLAGE OU SOUDAGE DE LA COUCHE DE FINITION

C. FIXATION MÉCANIQUE D'UNE ÉTANCHÉITÉ MONOCOUCHE DANS LES JOINTS COLLÉS OU SOUDÉS



1. Tôle profilée en acier
2. Ecran pare-vapeur éventuel
3. Isolation

4. Étanchéité
5. Étanchéité collée ou soudée sur l'isolation
6. Fixation de l'isolation

7. Fixation de la sous-couche à travers l'isolation
8. Fixation de l'étanchéité monocouche à travers l'isolant

ront pratiquement identiques à ceux situés au-dessus des points d'appui, et les forces exercées dans les différentes vis seront à peu près égales (*). On évitera de disposer des points de fixation sur le bord des panneaux isolants (< 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 d'isolation.

Le nombre de vis dépend de l'action du vent et de la résistance au vent de la toiture (§ 2.1.2.5, p. 11).

Il ne sera pas toujours possible de respecter fidèlement, sur la toiture, la répartition idéale présentée à la figure 38 (différence entre les modules de la tôle profilée en acier, ceux de l'isolation et de l'étanchéité, précision de la mise en œuvre). Il peut donc s'avérer nécessaire d'augmenter le nombre de vis.

Un joint continu (dans l'isolation) sur l'onde du panneau de toiture entraîne, tout au moins avec les tôles profilées en acier déformables, une flexion différentielle, qui surcharge l'étanchéité à cet endroit. Une pose alternée des panneaux d'isolation perpendiculairement à la direction des ondulations rigidifie le plancher de toiture et limite la sollicitation de l'étanchéité (figure 39).

Les extrémités des panneaux d'isolation doivent être soutenues, sauf disposition contraire explicite de l'ATG.

Lorsque des raisons esthétiques ne permettent pas la fixation mécanique sur des tôles profilées en acier (par exemple si les vis ne peuvent pas être apparentes), l'isolation peut être fixée à l'aide de colle synthétique.

7.3.5 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 pour tous les matériaux d'isolation (sauf pour le verre cellulaire entièrement enrobé de bitume) situés sous une étanchéité posée en indépendance et lestée. Néanmoins, le collage ou la fixation mécanique de l'isolation est toujours préférable à une pose en indépendance, qui requiert une attention particulière quant à la stabilité dimensionnelle de l'isolation.

Lorsque l'étanchéité est lestée ou fixée mécaniquement, l'isolation peut être posée en indépendance. Pour éviter que cette dernière ne soit soulevée par le vent pendant la pose, l'entrepreneur peut prévoir une adhérence partielle ou un certain nombre de fixations mécaniques. L'isolation, l'étanchéité et le lestage doivent être appliqués durant la même journée de travail.

Dans le cas des toitures inversées, les panneaux XPS pourvus de battées sont posés en indépendance sur l'étanchéité et lestés. Il est recommandé d'appliquer une couche de désolidarisation (perméable à la diffusion de vapeur) entre le lestage et l'isolation afin que de fins granulats ne pénètrent pas dans les ouvertures des joints entre les panneaux d'isolation.

(*) Cette notion se base sur une hypothèse de simplification :

- les calculs sont réalisés selon la théorie de l'élasticité
- le calcul des forces s'effectue comme pour les poutres reposant sur x points d'appui, où les rangées de vis ne s'influencent pas entre elles
- les points d'appui des vis sont considérés comme des charnières.

Fig. 38 Répartition idéale des vis sur le panneau d'isolation.

Le nombre de vis dépend de l'action du vent et de la résistance au vent de la toiture (§ 2.1.2.5, p. 11).

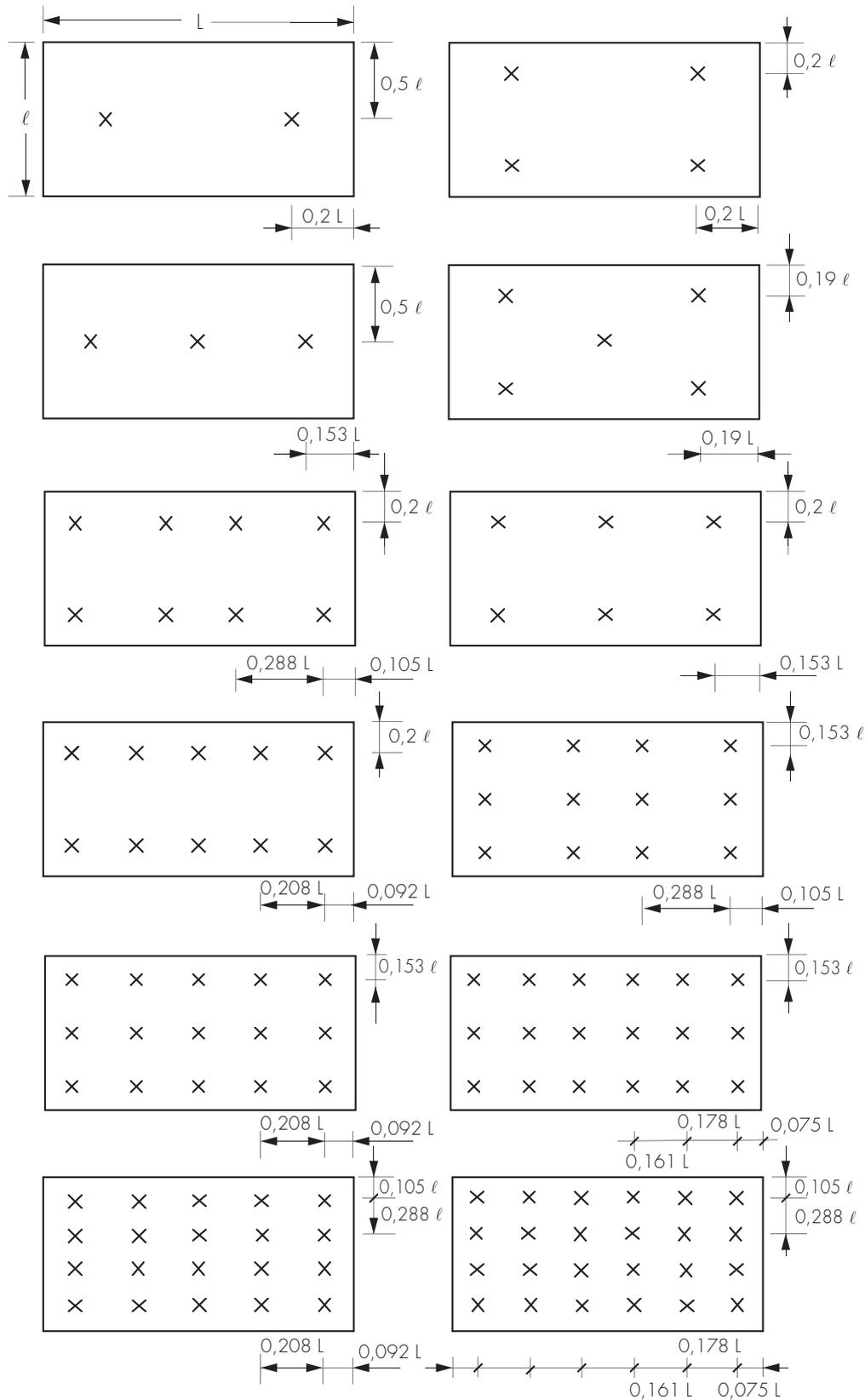
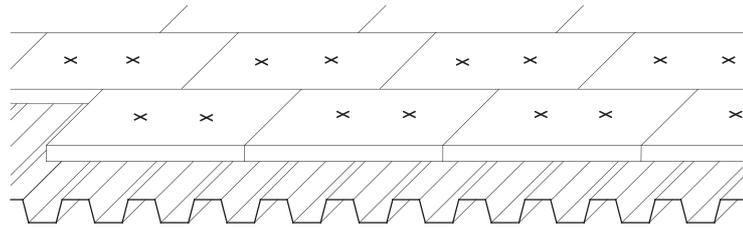
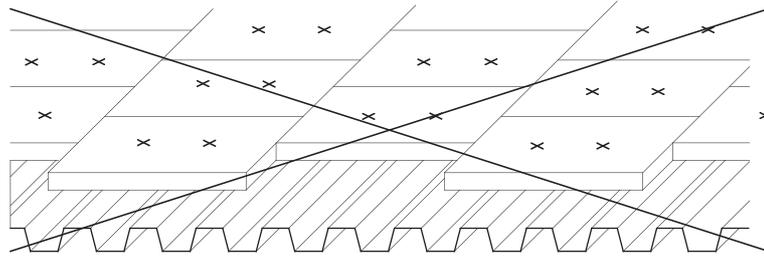


Fig. 39 Exemple de pose correcte (A) et de pose incorrecte (B) de l'isolation sur des tôles profilées en acier.

A. BONNE SOLUTION : POSE EN QUINCONCE DES PANNEAUX D'ISOLATION PERPENDICULAIREMENT À LA DIRECTION DE L'ONDULATION



B. MAUVAISE SOLUTION : POSE EN QUINCONCE DES PANNEAUX D'ISOLATION PARALLÈLEMENT À LA DIRECTION DES ONDULATIONS





8 L'ÉTANCHÉITÉ DE TOITURE

8.1 GÉNÉRALITÉS

8.1.1 TYPES D'ÉTANCHÉITÉS

L'étanchéité des toitures plates est réalisée au moyen de membranes bitumineuses ou synthétiques, à l'aide de bâches synthétiques préfabriquées ou de produits mis en œuvre sous forme liquide. Les revêtements avec feuilles métalliques ne sont pas traités dans la présente Note (cf. NIT 169 et 184 [7, 12]).

Les étanchéités bitumineuses (§ 8.2) sont issues d'une tradition de systèmes multicouches de bitume oxydé armé de feutre ou d'un voile de verre, qui permettaient d'obtenir une étanchéité acceptable par la superposition de plusieurs couches, pour autant que celles-ci fussent appliquées sur un support stable et peu isolé. L'amélioration remarquable des propriétés des membranes en bitume polymère armées de polyester (cf. § 8.2.1.2, p. 50) permet désormais d'appliquer des membranes en monocouche ou en bicouche.

Les étanchéités synthétiques (§ 8.3) se composent d'élastomères, d'élastomères thermoplastiques ou de plastomères avec ou sans armature, et ont toujours été, depuis leur introduction sur le marché, des étanchéités monocouches. Leur mode de pose varie d'un produit à l'autre et est très différent de celui des matériaux d'étanchéité bitumineux. Il est donc important de suivre les consignes du fabricant.

Les étanchéités mises en œuvre sous forme liquide sur la toiture (§ 8.4) sont sensibles aux conditions climatiques au moment de la pose.

Davantage encore que les systèmes multicouches, les étanchéités monocouches (*) requièrent un raccord fiable des joints et une exécution parfaite. L'expérience montre que d'excellents résultats peuvent être obtenus lorsque ces systèmes sont mis en œuvre par des ouvriers spécialement formés à cet effet, suivant des méthodes de réalisation adéquates.

On se trouve donc confronté à un choix difficile : étanchéités synthétiques ou bitumineuses et, dans la deuxième catégorie, monocouches ou multicouches.

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 éléments suivants :

- ◆ les conséquences d'une fuite : afin de déterminer la qualité et la durabilité requises du complexe toiture et de l'étanchéité, il faut se poser les questions suivantes : 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, ..., quelles marchandises ou appareils y sont entreposés, ces appareils ou marchandises sont-ils coûteux, bien emballés, protégés, ... ?
- ◆ le risque de dommage pendant l'exécution des 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, ne subisse des dégâts avant même que le bâtiment ne soit terminé. Une étanchéité multicouche permet, dans cette optique, 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 donc, dans de telles conditions, sur l'étanchéité, des panneaux de protection et/ou des chemins de circulation, ou on utilisera le pare-vapeur en guise d'étanchéité provisoire
- ◆ le risque de fuite : les erreurs de mise en œuvre au niveau de l'assemblage des lés entraînent

(*) Les agréments techniques des systèmes monocouches mentionnent la phrase standard suivante : "Les revêtements d'étanchéité de toiture réalisés en monocouche nécessitent, plus que ceux réalisés en multicouche, un soin particulier lors de l'exécution. Il appartient à l'entrepreneur de n'utiliser qu'une main-d'œuvre hautement spécialisée et de s'assurer, par une surveillance régulière et exigeante, qu'à tout moment et en tout endroit, le travail soit exécuté suivant les spécifications du fabricant."

directement des fuites dans les étanchéités monocouches, tandis que les systèmes multicouches offrent à cet égard une plus grande sécurité lorsqu'ils sont collés les uns aux autres en adhérence totale

- ◆ 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 plate, de s'assurer si une fuite peut être repérée rapidement ou non. En cas d'étanchéités collées en semi-indépendance ou en indépendance totale, 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, on préférera nettement une exécution bicouche posée en adhérence totale ou compartimentée à une étanchéité posée en indépendance totale ou partielle : les infiltrations d'eau éventuelles ne pourront alors pas se répandre sur le plancher de toiture; en présence d'un plancher en béton monolithique, la fuite est en outre plus facilement détectable.

8.1.3 AUTRES CRITÈRES DE CONCEPTION

Choisir une étanchéité de toiture n'est pas chose aisée, car 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 type d'étanchéité et le mode de mise en œuvre* : le choix peut s'opérer, d'une part, entre les étanchéités monocouches et multicouches et, d'autre part, entre les étanchéités bitumineuses et synthétiques. Les étanchéités de toiture peuvent être posées en indépendance totale et, en fonction du support (plancher ou isolation), en semi-indépendance, en adhérence totale ou par fixation mécanique. L'exécution peut être réalisée par collage à chaud, soudage, collage à froid, clouage, vissage, ... De surcroît, les matériaux et les techniques d'exécution ne cessent de se renouveler. Le choix s'avère donc des plus compliqués ...
- ◆ *les exigences diverses* : des exigences de sécurité peuvent être imposées par les pouvoirs publics en ce qui concerne le comportement au feu ou peuvent être envisagées du point de vue du risque d'incendie pendant l'exécution. A cela peuvent s'ajouter des exigences environ-

nementales : pollution chimique, environnement industriel agressif, longévité et déchets, ...

Certaines exigences techniques de construction peuvent s'avérer prépondérantes pour la composition de la toiture : type d'élément porteur, climat intérieur et actions du vent.

Le maître de l'ouvrage peut également imposer lui-même certaines exigences d'utilisation spécifiques concernant la toiture : si celle-ci est destinée à accueillir 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 (p. ex. une toiture comportant des zones techniques sur laquelle on doit pouvoir continuer à marcher 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)

- ◆ *l'expérience de l'exécutant* : la pose d'étanchéités monocouches diffère nettement de celle des étanchéités bitumineuses multicouches. Les techniques de pose des étanchéités bitumineuses sont généralement bien connues des entrepreneurs d'étanchéité et l'expérience en cette matière est importante. Par contre, la pose d'étanchéités monocouches exige une formation complémentaire particulière et demande, de surcroît, une expérience spécifique. La plupart des fabricants de ces systèmes collaborent dès lors avec un nombre limité d'entreprises de pose, dont les ouvriers ont été formés par le fabricant même
- ◆ *les malfaçons* : elles sont plus fréquentes dans le cas des détails de toiture délicats et lorsque les pénétrations en toiture sont nombreuses; certains accessoires spéciaux peuvent toutefois simplifier l'exécution
- ◆ *la fiabilité du système d'étanchéité* : il est conseillé, lorsque l'on opte pour un système d'étanchéité, de se demander si celui-ci est suffisamment fiable, surtout en ce qui concerne les recouvrements. A 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 plancher de toiture); 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, par exemple en mettant la toiture sous eau, ... ?
- ◆ *l'entretien* : nous renvoyons, à ce sujet, au chapitre 11 (p. 84).

8.2 ÉTANCHÉITÉS DE TOITURE BITUMINEUSES

8.2.1 SOUS-COUCHES, COUCHES INTERMÉDIAIRES ET COUCHES FINALES

La couche de finition d'une étanchéité bitumineuse doit toujours être une couche de bitume polymère armée de polyester (§ 8.2.1.2), possédant un agrément technique avec certification (ATG). Vieillissant rapidement, les matériaux à base de bitume oxydé ne peuvent plus être utilisés comme couches finales, mais donnent de bons résultats comme sous-couches ou couches intermédiaires (§ 8.2.1.1).

Afin d'éviter tout glissement (p. ex. au droit des relevés), il convient d'utiliser du bitume 110/30 pour le collage des différentes couches, et/ou de fixer l'étanchéité mécaniquement.

8.2.1.1 SOUS-COUCHES ET COUCHES INTERMÉDIAIRES (tableau 19)

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

- ◆ un voile de verre bitumé perforé VP 45/30 : voile de verre bitumé avec des trous d'un diamètre de 19 mm, répartis sur 3 à 6 % de la surface; il s'utilise comme sous-couche avec des étanchéités posées en semi-indépendance (bitume coulé à chaud)
- ◆ un voile de verre bitumé perforé VP 40/15 (épaisseur : ± 1 mm) : voile de verre bitumé avec des trous d'un diamètre de 40 mm sur 12 à 18 % de la surface. Il s'utilise pour la mise en œuvre d'étanchéités à souder et permet d'éviter le coulage de bitume sur le toit. Il s'agit tant de bitume oxydé que de bitume APP ou SBS (§ 8.2.2, p. 53), qui permettent de souder directement les étanchéités et d'obtenir, à travers les perforations, une adhérence suffisante au support, à condition que le travail soit correctement réalisé
- ◆ du bitume oxydé ou du bitume polymère revêtu d'un voile de verre V3, V4, V3 APP, V3 SBS, V4 APP, V4 SBS : il s'utilise comme couche pare-vapeur, comme sous-couche ou comme couche intermédiaire avec les étanchéités collées au bitume chaud, collées à froid ou soudées
- ◆ du bitume oxydé avec armature en aluminium ALU 3, s'utilisant en guise de pare-vapeur
- ◆ du bitume oxydé revêtu d'une natte en polyester P 150/16, P3 ou P4 : il est surtout recommandé lorsqu'on souhaite améliorer la résistance de l'étanchéité au poinçonnement ou poser des fixations mécaniques dans la première couche

dans des zones soumises à des vents forts

- ◆ EP2 : natte de polyester revêtue de bitume sur un côté et sur laquelle la couche finale est soudée ou collée en adhérence totale.

Outre les sous-couches et couches intermédiaires précédemment évoquées, d'autres couches sont également envisageables, à condition que leur application soit prévue dans les ATG de l'étanchéité.

8.2.1.2 COUCHES FINALES

Il s'agit des matériaux d'étanchéité dont le bitume de surfacage a été "modifié" par l'adjonction de polymères et qui sont soit armés de polyester non tissé, soit pourvus de deux armatures distinctes (polyester et voile de verre), soit encore armés de matériaux composites (fibres de polyester et fibres de verre). L'étanchéité de toiture doit disposer d'un agrément technique avec certification (ATG).

Une étanchéité monocouche doit présenter une épaisseur de 3,8 mm minimum (4,0 mm - 0,2 mm). Dans le cas des étanchéités multicouches, l'épaisseur minimale de la couche finale dépend du mode d'exécution (cf. Annexe 1, p. 85).

La modification du bitume permet d'obtenir un matériau qui n'a plus grand-chose en commun avec le bitume oxydé, notamment en raison de sa durée de vie beaucoup plus longue et de son comportement nettement meilleur à hautes et basses températures (tableau 20 et figure 40, p. 52). On parle alors de bitume polymère, le bitume étant mélangé à des polymères (plastomères ou élastomères). On distingue :

- ◆ les mélanges à base de plastomères : l'adjonction d'environ 30 % de polypropylène atactique (APP) confère au bitume des propriétés plastiques
- ◆ les mélanges à base d'élastomères : l'adjonction d'environ 12 % de styrène-butadiène-styrène (SBS) confère au bitume des propriétés élastiques.

Mais ce domaine est en pleine évolution et d'autres polymères font leur apparition.

Des essais réalisés par le CSTC ont eux aussi prouvé l'amélioration des propriétés de ces membranes. Des échantillons de divers types d'étanchéités à base de bitume oxydé, de bitume polymère (fig. 40, p. 52) ou de matières synthétiques (fig. 46, p. 66, et fig. 49, p. 70) sont soumis à des conditions de site réelles (étanchéité sur l'isolant) depuis 1982. L'évolution des propriétés des matériaux ainsi exposés montre que tant les bitumes polymères que les étanchéités synthétiques sont beaucoup plus durables que le bitume oxydé. En toiture, on n'observe jusqu'à présent aucune différence de qualité entre le SBS et l'APP.

Tableau 19 Caractéristiques et champ d'application des sous-couches, couches intermédiaires et pare-vapeur bitumineux.

CARACTÉRISTIQUES	VOILE DE VERRE					ALUMI- NIUM	VOILE DE POLYESTER			
	VP 50/16 (***)	VP 45/30	VP 40/15	V3	V4	ALU 3	P 150/16	EP2 (*)	P3	P4
Masse surfacique (g/m ²) - par extraction (min.) - de l'armature (min.)	45 ≥ 50	30 ≥ 45	30 ≥ 40	45 ≥ 50	45 ≥ 50	- ≥ 250	135 ≥ 150	135 ≥ 150	135 ≥ 150	135 ≥ 150
Ø perforations (mm) (min.)	-	19	40	-	-	-	-	-	-	-
Perforations de la surface (%)	-	3-6	12-18	-	-	-	-	-	-	-
COMPOSITION										
Teneur min. en bitume (g/m ²)	750	700	700	2100	2700	2200	750	1100	2100	2700
Teneur max. en filler (%)	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Masse surfacique min. (g/m ²)	1600	3000	1500	3000	4000	3000	1600	1250 (**)	3000	4000
Présence sur la face supérieure : - de sable/talc - d'un film thermofusible	x	x	x ou x	x ou x	x ou x	x	x ou x	x ou x	x ou x	x ou x
Présence sur la face inférieure : - de sable/talc - d'un film thermofusible - de gravier 2/4 ou 4/6 - de sable 1/3	x	x x	x ou x x	x ou x	x ou x	x ou x	x ou x	x ou x	x ou x	x ou x
MESURES STANDARD DES LÉS										
Longueur min. (m)	20	10	20	10	10	10	20	10/20	10	10
Largeur (m) (- 0,02)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Épaisseur (mm) (± 5 %)	-	-	-	3	4	3	-	2	3	4
Poids min. (kg)	32	30	30	30	40	30	32	12,5/25 (**)	30	40
PROPRIÉTÉS THERMIQUES										
Température min. de fluage (°C)	70	-	-	70	70	70	70	70	70	70
Température max. de pliage (°C) :										
- sans fissures	20	-	-	20	20	20	20	20	20	20
- sans rupture	3	-	-	3	3	3	3	3	3	3
PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES										
Retrait (%)							≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
Résistance à la déchirure au clou (N) (fixation mécanique des sous-couches)							≥ 100	≥ 100	≥ 100	≥ 100
APPLICATION POSSIBLE :										
- couche intermédiaire/sous-couche	-	x	x	x	x	-	x	x	x	x
- pare-vapeur	x	-	-	x	x	x	x	x	x	x

(*) EP2 : membrane de polyester d'une épaisseur ≥ 2 mm, revêtue sur une face.
(**) Valeur indicative.
(***) V 50/16 : - le nombre 50 se rapporte à la masse surfacique de l'armature (g/m²)
- le nombre 16 se rapporte à la masse surfacique du bitume (100 g/m²).

Tableau 20

Propriétés comparées des étanchéités à base de bitume oxydé et de bitume polymère.

PROPRIÉTÉS	BITUME OXYDÉ AVEC ARMATURE EN VOILE DE VERRE	BITUME POLYMÈRE AVEC ARMATURE EN POLYESTER
Résistance à la traction (par bande de 50 mm)	150 à 250 N	500 à 1200 N
Allongement à la rupture	2 %	> 20 %
Température de fluage	70 °C (110 °C)	110 à 150 °C
Température de pliage	+ 3 °C	- 5 à - 30 °C
Vieillessement	rapide (fragilisation)	lent; conserve longtemps des valeurs initiales élevées

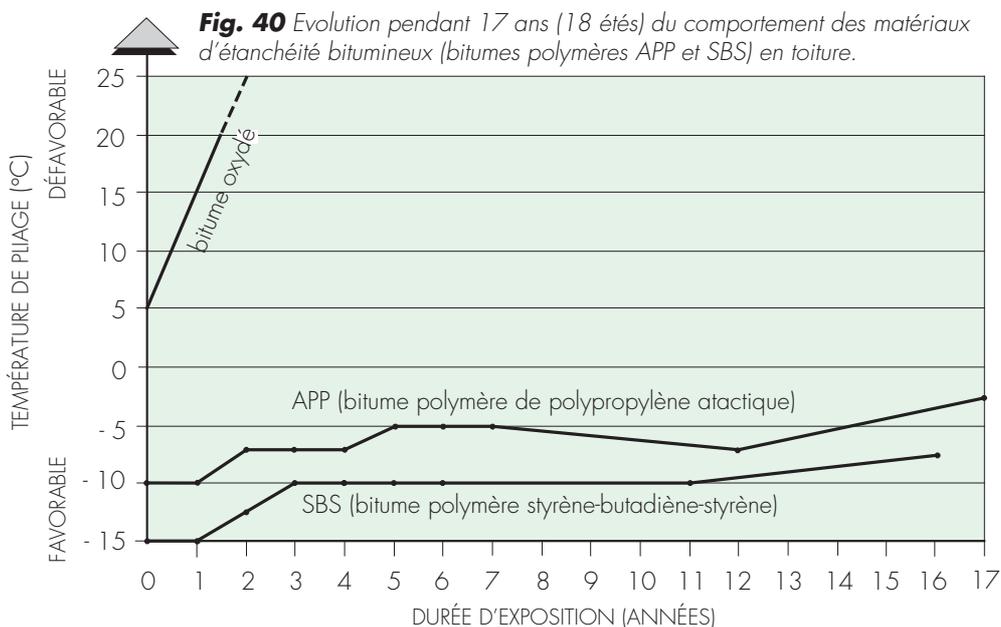
Lors de la fabrication, la face supérieure de la couche finale peut être pourvue d'une protection contre les rayons UV par incorporation de paillettes d'ardoise ou de fins granulats (disponibles en différentes couleurs). L'adhérence de ces paillettes est bonne (durable) sur le bitume polymère. Les mélanges à base d'élastomères (SBS) doivent du reste toujours être protégés contre les rayons UV au moyen de paillettes d'ardoise ou d'une couche de lestage. Les mélanges à base de plastomères (APP) n'ont théoriquement pas besoin de protection UV, mais celle-ci est 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 ne soient dotés d'une protection efficace (cf. référence n° 16 de la bibliographie et § 9.2, p. 79).

Afin d'éviter que les couches d'un rouleau ne colent l'une à l'autre, leur face inférieure doit être

sablée, à l'instar des matériaux traditionnels, 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 pour la mise en œuvre avec du bitume chaud ou de la colle à froid (à l'exception des membranes SBS revêtues d'un film thermofusible perforé). Il existe également des films PE ou PP amovibles pour les membranes autocollantes et les membranes avec bande de soudage rapide (collage en semi-indépendance).

Le tableau 21 présente les agréments techniques en vigueur pour le bitume polymère à la date de rédaction du présent document (la durée de validité d'un agrément est de trois ans).

Les matériaux destinés aux couches finales peuvent également être appliqués en guise de pare-vapeur, de sous-couches ou de couches interméd-



N° D'ATG	MARQUE	TYPE	FIRME
1337	Polygum	APP	Atab
1364	Paralon	APP	Imper Italia
1466	Ascoflex	APP	Asphaltco
1502	Derbigum SP, GC, Derbicolor	APP	PRS
1558	Lumcopol	APP	Bital
1578	Biargum, Vamgum, Polyprop	APP	Interroof
1580	Deborek	APP	De Boer
1616	Testudo Flexter	APP	Index
1654	Armourplast	APP	Iko Sales
1716	Alagum	APP	Onduline Benelux
1768	Bituline HP	APP	Onduline Benelux
1786	Polykab APP	APP	Kab
1839	Gummival	APP	Valli Zaban
1883	Eshagum A	APP	Esha-Kab
1984	Gummiflex	APP	Plafomat
2026	Euroflam	APP	Bital
2040	Polygum Tecno	APP	Atab
2053	Derbigum SP, Derbicolor	APP	PRS
2090	Sopragum	APP	Soprema Belgique
2197	Polygum Quadra	APP	Atab
2254	Polyshield	APP	Polyglass
2255	Gum a roof	APP	Atab
2259	Scutumplast	APP	Italiana Membrane
2317	Ecorol	APP	Kab
2318	Euroflam venti	APP	Bital
2323	Polygum Turbo Hi-Tec	APP	Atab
2324	Polygum Cool	APP	Atab
1826	Quatroflex	PBE	Kab
1424	Polyflex	SBS	Vlaams Asfaltbedrijf Huyghe
1557	Elastolum	SBS	Bital
1579	Polyrubber	SBS	Interroof
1631	Flexigum, Albigum	SBS	Atab
1650	Flexal	SBS	Onduline Benelux
1655	Armourflex	SBS	Iko Sales
1745	Debovix, Deboreen	SBS	De Boer
1757	Ascogum	SBS	Asphaltco
1773	Polykab S en SX	SBS	Kab
1817	Sopralene Flam	SBS	Soprema
2024	Monoflex	SBS	Bital
2025	Eurotop	SBS	Bital
2069	Bi-turbo 5A	SBS	Interroof
2104	Parafor Solo	SBS	Siplast
2382	Monoflex venti	SBS	Bital
2404	Monoflex M	SBS	Bital
1924	Duo	APP/SBS	De Boer

Remarque : les matériaux d'étanchéité pour toitures vertes, ponts ou routes ne sont pas repris dans le tableau. Une version actualisée des informations contenues dans ce tableau peut être consultée sur le site Internet de l'UBAtc : <http://www.ubatc.be> - cf. "répertoire".

Tableau 21
Matériaux d'étanchéité bitumineux détenteurs d'un agrément technique (situation au moment de la rédaction du présent document).

diaires. Les sous-couches V 50/16 (voile de verre bitumé) et VD 50/30 (voile de verre gravillonné), spécialement conçues pour être collées avec du bitume chaud, sont de moins en moins utilisées dans le cas du bitume polymère et perdent de ce fait leur raison d'être. Les exceptions à cette règle sont mentionnées dans l'ATG correspondant.

8.2.2 MÉTHODES DE POSE

Les aspects suivants interviennent dans la conception et la pose d'une étanchéité de toiture bitumineuse :

- ◆ le nombre de couches de l'étanchéité : une ou plusieurs

- ◆ le mode de fixation de l'étanchéité sur le support : en indépendance totale, en adhérence totale, en semi-indépendance ou par fixation mécanique.

Les compositions sont identifiées par un code (§ 8.2.2.3).

8.2.2.1 NOMBRE DE COUCHES DE L'ÉTANCHÉITÉ

On distingue, parmi les étanchéités bitumineuses présentées ci-après, les étanchéités monocouches et multicouches.

ÉTANCHÉITÉS MULTICOUCHES

En présence de deux couches (ou davantage), le collage entre les couches s'opère toujours en adhérence totale, par soudage à la flamme, au moyen de bitume chaud ou de colle à froid.

On utilise souvent un V3 comme sous-couche. Afin d'améliorer encore la qualité des systèmes, surtout lorsque la sous-couche sert d'étanchéité provisoire (*) (organisation du chantier), on peut remplacer le V3 ou le V4 par un P 150/16, un P4 ou des lés à base de bitume APP ou SBS.

L'utilisation d'APP comme sous-couche et de SBS comme couche finale ou l'inverse (en cas de soudage) est possible si les deux matériaux sont compatibles (ATG).

ÉTANCHÉITÉS MONOCOUCES

On considère qu'une étanchéité est monocouche lorsqu'elle comprend une sous-couche perforée et une couche finale.

8.2.2.2 FIXATION DE L'ÉTANCHÉITÉ SUR LE SUPPORT

Différentes techniques de pose existent pour les couches d'étanchéité :

- ◆ en indépendance (L) : elles sont, la plupart du temps, posées sur une couche de désolidarisation et sont toujours lestées d'une couche de protection lourde (§ 9.3, p. 80)
- ◆ en adhérence totale (T) : elles sont posées avec du bitume chaud, de la colle à froid ou par soudage
- ◆ en semi-indépendance (en adhérence partielle) (P) : pose avec du bitume chaud, de la colle à froid ou par soudage et à l'aide de couches perforées ou de bandes de soudage rapide. Un système collé suffit dans la plupart des cas (condi-

tions d'exposition normale). Comme le montre le tableau 27 (p. 58), le choix entre adhérence totale et semi-indépendance dépend le plus souvent du support. Lorsque les deux solutions sont envisageables, la pose en adhérence totale confère une meilleure résistance au vent, la semi-indépendance présentant, pour sa part, l'avantage d'une meilleure répartition des tensions dans l'étanchéité

- ◆ fixation mécanique (M) par vis ou par clous : les étanchéités dont la première couche est fixée mécaniquement dans le plancher de toiture, à travers l'isolation, permettent d'adapter le nombre de fixations aux conditions locales (angles, rives, hauteur, exposition, ...). Ce mode de fixation est particulièrement recommandé pour les planchers de toiture en tôles profilées en acier ou en bois. Il est moins courant pour les autres types de planchers. Le vissage (solution MV) est surtout utilisé pour les toitures chaudes sur tôles profilées en acier, le clouage (solution MN) s'appliquant généralement aux planchers en bois. Certaines compositions de toiture nécessitent l'utilisation de vis présentant une résistance élevée à la corrosion (surtout lorsqu'on utilise une isolation PF).

8.2.2.3 SYSTÈMES DE CODAGE

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 deuxième majuscule (L, B, S, C, V ou N) renvoie à la technique de fixation de la première couche (sous-couche ou couche unique) de l'étanchéité sur le support :

- ◆ L : en indépendance
- ◆ B : collage au bitume chaud
- ◆ S : soudage
- ◆ C : collage à froid
- ◆ V : fixation par vis
- ◆ N : fixation par clous.

La lettre en 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.

(*) Si l'étanchéité provisoire est soumise à de fortes contraintes, elle doit posséder une armature en polyester.

Tableau 22 Codage des étanchéités bitumineuses.

FIXATION	ÉTANCHÉITÉ MONOCOUCHE	ÉTANCHÉITÉ MULTICOUCHE
L En indé- pen- dance	L L └─┬─> couche unique : en indépendance └─┬─> mode de fixation : en indépendance	L L c └─┬─> couche finale collée à froid └─┬─> sous-couche : en indépendance └─┬─> mode de fixation : en indépendance
		L L s └─┬─> couche finale soudée └─┬─> sous-couche : en indépendance └─┬─> mode de fixation : en indépendance
T En adhé- rence totale	T C └─┬─> couche unique collée à froid └─┬─> mode de fixation : en adhérence totale	T B s └─┬─> couche finale soudée └─┬─> sous-couche collée à l'aide de bitume └─┬─> mode de fixation : en adhérence totale
	T S └─┬─> couche unique soudée └─┬─> mode de fixation : en adhérence totale	T S s └─┬─> couche finale soudée └─┬─> sous-couche soudée └─┬─> mode de fixation : en adhérence totale
		T C c └─┬─> couche finale collée à froid └─┬─> sous-couche collée à froid └─┬─> mode de fixation : en adhérence totale
		T C s └─┬─> couche finale soudée └─┬─> sous-couche collée à froid └─┬─> mode de fixation : en adhérence totale
P En semi- indé- pen- dance	P B s └─┬─> couche finale soudée └─┬─> sous-couche (VP 45/30) collée avec une couche bitumineuse └─┬─> mode de fixation : en semi-indépendance	P B B s └─┬─> couche finale soudée └─┬─> couche intermédiaire collée à l'aide de bitume └─┬─> sous-couche (VP 45/30) collée à l'aide de bitume └─┬─> mode de fixation : en semi-indépendance
	P L s └─┬─> couche finale soudée └─┬─> sous-couche (VP 40/15) └─┬─> mode de fixation : en semi-indépendance	P S s └─┬─> couche finale soudée └─┬─> sous-couche soudée avec plots ou bandes └─┬─> mode de fixation : en semi-indépendance
	P S └─┬─> monocouche soudée (APP/SBS) avec plots ou bandes └─┬─> mode de fixation : en semi-indépendance	P C s └─┬─> couche finale soudée └─┬─> sous-couche collée à froid par bandes └─┬─> mode de fixation : en semi-indépendance
	P C └─┬─> monocouche collée à froid par bandes └─┬─> mode de fixation : en semi-indépendance	P C c └─┬─> couche finale collée à froid └─┬─> sous-couche collée à froid par bandes └─┬─> mode de fixation : en semi-indépendance
M Fixa- tion méca- nique	MV └─┬─> couche unique fixée par vis dans les recouvrements └─┬─> mode de fixation : fixation mécanique	MV s (*) └─┬─> couche finale soudée └─┬─> sous-couche fixée par vis └─┬─> mode de fixation : fixation mécanique
		MN s (*) └─┬─> couche finale soudée └─┬─> sous-couche fixée par clous └─┬─> mode de fixation : fixation mécanique
		MV c (*) └─┬─> couche finale et recouvrements collés à froid └─┬─> sous-couche fixée par vis └─┬─> mode de fixation : fixation mécanique
		MN c (*) └─┬─> couche finale et recouvrements collés à froid └─┬─> sous-couche fixée par clous └─┬─> mode de fixation : fixation mécanique

(*) D'après la définition que donnent l'UEAtc et l'UBAtc d'une étanchéité monocouche, ces étanchéités fixées mécaniquement sont monocouches. Cependant, nous les considérons ici comme étant multicouches. Bien que les sous-couches soient perforées, ces systèmes offrent en effet une plus grande sécurité contre l'infiltration d'eau que les étanchéités monocouches, à condition que les recouvrements soient étanches.

Tableau 23 Composition d'une étanchéité posée en indépendance L.

COMPOSITION	MONO-COUCHE	MULTICOUCHE	
	LL	LLs	LLc
Couche de désolidarisation éventuelle (§ 8.2.4.1.1)	X	X	X
Sous-couche : V3 minimum avec recouvrements soudés (§ 8.2.1.1)		X	X
Couche finale en bitume polymère avec recouvrements soudés (§ 8.2.1.2)	X		
Couche finale en bitume polymère : - entièrement soudée - entièrement collée à froid		X	X
Couche de protection lourde (§ 9.2)	X	X	X

Tableau 24 Composition d'une étanchéité posée en adhérence totale T.

COMPOSITION	MONOCOUCHE		MULTICOUCHE			
	TC	TS	TBs	TSs	TCc	TCs
Vernis d'adhérence bitumineux (§ 8.2.4.1)	X	X	X	X	X	X
Sous-couche V3 ou supérieure (§ 8.2.1.1) : - posée en adhérence totale à l'aide de bitume - entièrement soudée - entièrement collée à froid			X	X	X	X
Couche finale en bitume polymère (§ 8.2.1.2) : - entièrement soudée - entièrement collée à froid	X	X	X	X	X	X

Tableau 25 Composition d'une étanchéité en semi-indépendance P.

COMPOSITION	MONOCOUCHE				MULTICOUCHE			
	PBs	PLs	PS	PC	PBBs	PSs	PCs	PCc
Vernis d'adhérence bitumineux (§ 8.2.4.1)	X	X	X	X	X	X	X	X
Sous-couche : - VP45/30 - avec plots ou bandes (à souder) - VP 40/15 perforé - collée à froid par bandes	X	X			X	X	X	X
Couche intermédiaire collée au bitume					X			
Couche finale en bitume polymère : - avec plots ou bandes - entièrement soudée - collée à froid par bandes - entièrement collée à froid	X	X	X	X	X	X	X	X

EXEMPLES

- 1) LLs signifie :
 - premier L : étanchéité de toiture 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) PBBs signifie :
 - P : semi-indépendance
 - premier B : sous-couche collée à l'aide de bitume
 - deuxième B : couche intermédiaire collée à l'aide de bitume
 - s minuscule : couche finale soudée.

Tableau 26

Composition
d'une
étanchéité
fixée
mécani-
quement M.

COMPOSITION	MONO-COUCHE	MULTICOUCHE			
	MV	MVs	MNs	MVc	MNc
Couche de désolidarisation éventuelle (§ 8.2.4.1)	X	X	X	X	X
Sous-couche P4 (ou bitume polymère avec armature de polyester) : - vissée, recouvrements collés à froid - vissée, recouvrements soudés - clouée, recouvrements soudés - clouée, recouvrements collés à froid		X	X	X	X
Couche finale en bitume polymère : - vissée, recouvrements soudés - entièrement soudée - entièrement collée à froid	X	X	X	X	X

8.2.2.4 COMPOSITION DES SYSTÈMES D'ÉTANCHÉITÉ

Nous renvoyons, pour les dispositions du cahier des charges, aux tableaux 23 à 26, qui précisent les compositions à prévoir.

Le § 8.2.2.2 mentionne les modes et techniques de fixation les plus courants et les cas où leur application est permise; moyennant une exécution correcte, ces solutions mènent à une bonne étanchéité. D'autres techniques de pose ou compositions sont envisageables, pour autant qu'elles soient prévues dans l'ATG correspondant. L'entrepreneur d'étanchéité est la personne la mieux placée, par son expérience et ses connaissances, pour conseiller le concepteur.

8.2.3 CHOIX DU SYSTÈME D'ÉTANCHÉITÉ EN FONCTION DU SUPPORT

Le tableau 27 indique les combinaisons support/mode de fixation/technique de collage les plus adaptées pour l'étanchéité.

8.2.4 EXÉCUTION

8.2.4.1 PRÉPARATION DU SUPPORT

Le contrôle du support s'effectue selon les principes énoncés au § 4.3 (p. 25).

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 employée.

8.2.4.1.1 POSE EN INDÉPENDANCE

Cette technique vise à éviter toute adhérence entre l'étanchéité et le support. Si la nature des matériaux utilisés entraîne malgré tout un risque d'adhérence de l'étanchéité au support, on utilisera une couche de désolidarisation.

Si le support n'est pas compatible avec le bitume, par exemple en présence d'une ancienne étanchéité à base de goudron, il convient également de prévoir une couche de désolidarisation.

Les couches de désolidarisation les plus courantes sont les suivantes :

- ◆ voile de polyester non tissé et non revêtu (le plus souvent d'une masse surfacique nominale de 150 g/m² ou plus)
- ◆ sous-couche bitumineuse spéciale revêtue sur la face inférieure d'une couche anti-adhérence, par exemple un voile de polyester bitumé sur un seul côté. Cette couche peut généralement faire office de première couche d'étanchéité.

La couche de désolidarisation se pose entre le support et l'étanchéité, en indépendance, avec un recouvrement transversal et longitudinal. En cas de couche de séparation, les recouvrements sont posés librement et leur dimension est de 100 mm minimum. Si cette couche fait simultanément office de première couche d'étanchéité, les recouvrements sont fixés (à l'aide de bitume chaud, de 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 d'abord revêtus d'un

Tableau 27 Techniques de pose courantes des étanchéités de toiture bitumineuses en fonction du support.

POSE DE L'ÉTANCHÉITÉ SUR LE SUPPORT	TOITURES ISOLÉES						ÉTANCHÉITÉ BITUMINEUSE EXISTANTE (5)	TOITURES NON ISOLÉES (4)					
	PUR/PIR PAREMENTÉ	PF PAREMENTÉ	EPS		CG VERRE CELLULAIRE	MV LAINÉ MINÉRALE, EPB PERLITE, ICB LIÈGE		BÉTON ET BÉTON DE PENTE LÉGER	PANNÉAUX DE BÉTON CELLULAIRE	MULTIPLÉX, FIBRO-CIMENT, PANNÉAUX DE PARTICULES	PANNÉAUX EN FIBRES DE BOIS LIÉS AU CIMENT	PLANCHER EN BOIS	
			PAREMENTÉ	NON PAREMENTÉ		soudable, parementé							non soudable, parementé ou non
L En indépendance	LL	X	X	X	(X) (6)	(X)	X	X	X	(X)	(X)	(X)	
	LLs	X	X	X	(X) (6)	(X)	X	X	X	(X)	(X)	(X)	
T En adhérence totale	LLc	X	X	X	(X) (6)	(X)	X	X	X	(X)	(X)	(X)	
	TC	X	-	X	(X) (8)	-	X	(X) (1)	X (3)	X (2)	X (3)	-	
	TS	-	-	-	(X) (12)	X	-	(X) (1)	X (3)	X (2)	-	-	
	TBs	-	-	(X)	X	-	X	(X) (1)	X (3)	X (2)	X (2)	-	
	TSs	-	-	-	(X) (12)	X	-	(X) (1)	X (3)	X (2)	-	-	
	TCc	X	-	X	(X) (8)	-	X	(X) (1)	X (3)	X (2)	X (3)	-	
	TCs	X	-	X	(X) (8)	-	X	(X) (1)	X (3)	X (2)	X (3)	-	
	PBs	X	-	X	(X) (7)	-	-	X	X (3)	X (2)	-	-	
	PLs	X	-	X	(X) (7)	-	-	X	X (3)	X (2)	-	-	
	PS	X	-	X	(X) (7)	-	-	X	X (3)	X (2)	-	-	
P En semi-indépendance	PC	X	-	X	(X) (7)	-	-	X	X (3)	X (2)	-	-	
	PBBs	X	-	X	(X) (7)	-	-	X	X (3)	X (2)	-	-	
	PSs	X	-	X	(X) (7)	-	-	X	X (3)	X (2)	-	-	
	PCC	X	-	X	(X) (7)	-	-	X	X (3)	X (2)	-	-	
	PCs	X	-	X	(X) (7)	-	-	X	X (3)	X (2)	-	-	
	MV	Autorisée, sauf pour le verre cellulaire.						X	(X) (10)	X	X	X	X
	MVc	Mode de fixation dans le plancher à travers l'isolation : cf. "toitures non isolées".						X	(X) (10)	X	X	X	X
M Fixation mécanique	MVs							-	-	X	X	-	X
	MNc							(X) (10)	X (11)	X (9)	X (9)	X	X
	MNs							-	X (11)	X (9)	X (9)	-	X

X : admis
 (1) Pour éviter les boursoufflements, la pose en adhérence totale ne sera réalisée que sur des toitures lestées ou sur béton sec.
 (2) Dans le cas d'une mise en œuvre en adhérence totale, on pose des bandes fibres sur tous les joints pour éviter tout écoulement de bitume et limiter l'influence des mouvements.
 (3) Des bandes fibres sont posées sur les joints d'about.
 (4) L'entrepreneur d'étanchéité peut, au besoin, informer son client du règlement thermique.
 (5) Cf. le chapitre 10 relatif à la rénovation.
 (6) On colle toujours une première couche (min. V50/16) en adhérence totale à l'aide de bitume oxydé. Une étanchéité peut ensuite être posée en indépendance.
 (7) On colle toujours une première couche (min. V50/16) en adhérence totale à l'aide de bitume oxydé. Une étanchéité peut ensuite être posée en semi-indépendance.
 (8) On colle toujours une première couche (min. V50/16) en adhérence totale à l'aide de bitume oxydé. Une étanchéité peut ensuite être posée en adhérence totale.
 (9) Ne s'applique pas aux panneaux de fibrociment.
 (10) La fixation se fait à travers le béton de pente, dans le plancher de toiture en béton sous-jacent.
 (11) On utilise des clous spécialement conçus pour cet usage.
 (12) La pose se fait sur une couche de bitume oxydé.

verniss d'adhérence bitumineux (également appelé *primer*) 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) et de réactiver l'ancienne étanchéité bitumineuse (en cas de rénovation).

Le verniss d'adhérence bitumineux étant une solution de bitume très liquide, le support doit être compatible non seulement avec le bitume, mais aussi avec le solvant du verniss d'adhérence (le fabricant peut en principe fournir toutes les informations utiles concernant le solvant utilisé).

Le verniss d'adhérence se pose à l'aide d'une raclette, d'une brosse, d'un rouleau ou d'un vaporisateur et ce, d'une manière aussi uniforme que possible, à raison de 200 à 300 g/m² suivant la porosité du support. Ce dernier doit être sec à l'air et exempt de toute particule libre.

Si l'on utilise un vaporisateur, il convient de veiller à poser partout une couche suffisante de verniss d'adhérence et à le répandre uniformément, sans surépaisseurs (qui donneraient lieu à un séchage non homogène), à l'aide d'une raclette ou d'un rouleau.

Après la pose, 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 verniss d'adhérence, de la quantité appliquée et des conditions météorologiques. On veillera à ne jamais approcher une flamme du verniss d'adhérence avant que celui-ci ne soit sec (pour éviter que le solvant ne s'enflamme).

Le verniss d'adhérence doit être entièrement sec avant d'entamer le collage de l'étanchéité en adhé-

rence totale ou en semi-indépendance.

Si la pose s'effectue au-dessus d'une ancienne étanchéité bitumineuse, une solution alternative à la préparation de la surface avec du verniss d'adhérence (neutralisation des substances organiques, graisses, huiles) est l'avivage à la flamme de l'ancien bitume (moyennant les mesures de prévention anti-incendie qui s'imposent).

8.2.4.1.3 POSE PAR FIXATION MÉCANIQUE

Ce mode de pose présente le même inconvénient que la pose en indépendance (§ 8.2.4.1.1). Ici aussi, une couche de désolidarisation peut s'avérer nécessaire.

8.2.4.2 SCHÉMA DE POSE, RECOUVREMENT, 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. Pour ce faire, 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 de l'évacuation de l'eau.

La figure 41 montre une possibilité de mise en œuvre d'une étanchéité. On distingue quatre méthodes pour un même sens d'évacuation de l'eau.

Les recouvrements des sous-couches et des couches finales ne peuvent pas se superposer. Les joints de la deuxième couche se trouveront de préférence au milieu de la première couche (pose alternée et non croisée).

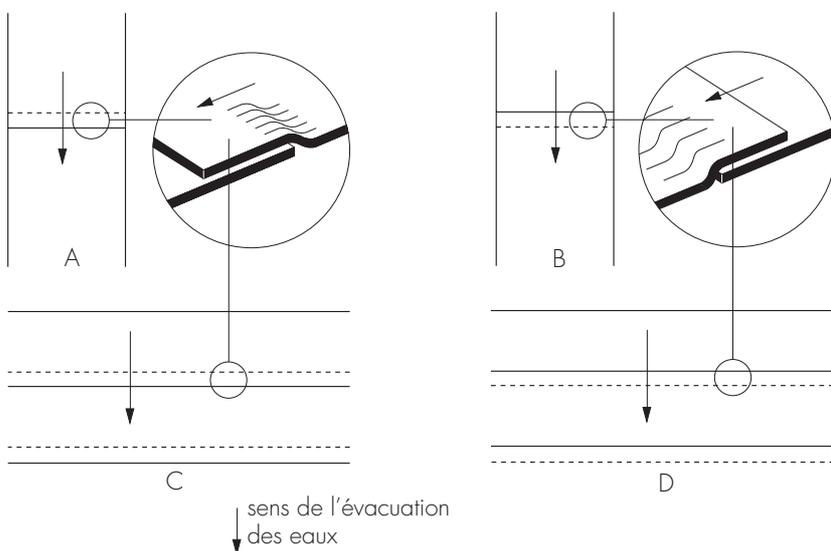


Fig. 41 Méthodes d'exécution possibles.

- A. Méthode de pose préconisée (pas de contre-joint et peu d'accumulation d'eau)
- B. Méthode de pose à éviter en raison de la présence d'un contre-joint
- C. Méthode de pose admise, mais à éviter en cas de toitures à faible pente ou de membranes épaisses (4 mm)
- D. Méthode de pose à déconseiller en raison de la présence d'un contre-joint

8.2.4.4 COLLAGE (DES SOUS-COUCHES) AU BITUME CHAUD

Pour le collage au bitume chaud, on utilise en guise d'adhésif du bitume oxydé, dont on distingue deux types : "85/25" (*) et "110/30".

Pour le collage de l'étanchéité sur une isolation, l'usage du bitume 110/30 est préconisé, car il présente un point de ramollissement plus élevé que le bitume 85/25, ce qui diminue le risque de glissement, surtout sur une surface en pente.

Le bitume oxydé est livré en blocs de 20 à 30 kg. Ces blocs sont fondus dans un fondoir à bitume.

La température optimale de mise en œuvre du bitume fondu se détermine selon le principe suivant :

$$\text{température de mise en œuvre} = \text{point de ramollissement} + 100 \text{ } ^\circ\text{C},$$

ce qui correspond concrètement à une température de mise en œuvre de l'ordre de 210 °C pour un bitume 110/30.

La présence éventuelle de fumée bleue s'échappant du fondoir indique que la température du bitume est beaucoup trop élevée, avec à la clé un risque d'incendie nettement accru et un bitume de qualité considérablement amoindrie.

Le bitume chaud liquide est soutiré et versé au moyen d'un distributeur *ad hoc* avant la pose de l'étanchéité.

Si l'on colle uniquement le recouvrement, le bitume chaud est répandu en continu sur toute la largeur du recouvrement.

Si l'étanchéité est collée en semi-indépendance (uniquement pour les membranes d'étanchéité spécialement conçues à cet effet, comme le VP 45/30), on répand le bitume chaud sur toute la surface.

Le collage en semi-indépendance sur le support est assuré par le passage de bitume chaud à travers les perforations de la membrane. La surface collée (et partant, la résistance au vent) est toutefois limitée à environ 3 à 6 % de la surface des lés. Dans les zones exposées à des dépressions de vent plus importantes, on déroule le plus souvent la membrane perforée dans du bitume coulé en zigzag.

En cas de pose en adhérence totale, on déroule l'étanchéité dans le bitume chaud, afin de créer un bain de bitume permanent sur toute la largeur du lé. Pour éviter que des boursoflures n'apparaissent ultérieu-

rement, on veillera à ne pas enfermer d'air ou d'humidité entre deux couches étanches à la vapeur.

Afin d'assurer un joint de recouvrement correct, le bitume doit refluer du joint sous forme d'un filet continu.

Les sous-couches réalisées à l'aide de bitume APP ne peuvent être collées au bitume chaud, car le point de ramollissement de l'APP est trop élevé, ce qui empêche d'obtenir une bonne adhérence.

8.2.4.5 COLLAGE (DES SOUS-COUCHES OU DES COUCHES FINALES) PAR SOUDAGE À LA FLAMME

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.

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 que la quantité de bitume 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) soit suffisante.

Si on assemble deux surfaces bitumineuses (membranes, couche de surfacage au bitume, enduisage de bitume sur l'isolation, ...) par soudage, il faut, pour obtenir une bonne adhérence, que le bitume des deux surfaces fonde suffisamment. En cas de soudage de bitume polymère sur du bitume oxydé, on dirigera donc davantage la flamme sur le bitume polymère, dont le point de ramollissement est nettement plus élevé. Cette technique exige du temps et entraîne une grande consommation de gaz. Toutefois, faute d'y recourir, l'adhérence risque d'être insuffisante (boursoflures, glissement, décollement des recouvrements longitudinaux et d'about, ...).

En cas de pose en indépendance, on se contente de souder le recouvrement. Le bitume sortant du recouvrement doit refluer sous forme d'un filet continu.

En cas de pose en semi-indépendance, deux possibilités se présentent :

- ◆ soit on utilise une membrane à grandes perforations (VP 40/15) que l'on déroule d'abord en indépendance, en ménageant un faible recouvrement

(*) 85 = point de ramollissement à 85 °C, 25 = indice de pénétration en 1/10 mm à 25 °C.

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. L'adhérence correspond à environ 12 à 18 % de celle d'une étanchéité collée en adhérence totale (pour la résistance au vent, cf. l'ATG correspondant)

- ◆ soit on utilise une membrane d'étanchéité avec bandes de soudage rapide réparties de façon inégale sur la face inférieure, les zones 'libres' étant revêtues d'un agent anti-adhérent. 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'anti-adhérence. De plus, le soudage des recouvrements (notamment des abouts) doit faire l'objet d'un soin particulier, étant donné qu'ils réclament un collage complet et continu. Le résultat final (notamment la résistance au vent) dépend, lui aussi, de la qualité du bitume de soudage rapide; nous renvoyons, à ce sujet, aux ATG correspondants.

En cas de collage en adhérence totale, la membrane est soudée à la flamme sur toute sa largeur pendant qu'elle est déroulée. Devant le rouleau se trouve en permanence un filet de bitume fondu en provenance de la membrane, ce qui assure un collage parfait.

Comme pour tous les modes de pose, le bitume fondu doit refluer du joint sous forme d'un filet continu. Pour 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.

Les recouvrements d'about sont bien marouflés (par exemple, à l'aide d'un torchon humide).

8.2.4.6 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 les ATG correspondants).

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 pour ce faire l'ATG correspondant. On veillera également à bien maroufler le joint de recouvrement.

Avant de souder le recouvrement à la flamme ou à l'air chaud, on veillera à ce que le solvant de la colle se soit suffisamment évaporé, pour éviter qu'il ne s'enflamme et que des vapeurs toxiques n'apparaissent en concentration élevée.

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/m² 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.

Étant donné que toute la quantité de solvant ne s'évapore pas directement après la pose, l'adhérence initiale n'est pas optimale. L'adhérence de la colle ne devient totale qu'au bout de quelques jours, voire quelques semaines selon les conditions météorologiques. 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. C'est pourquoi on soudera généralement les relevés à la flamme (sauf si l'on doit travailler sans flamme).

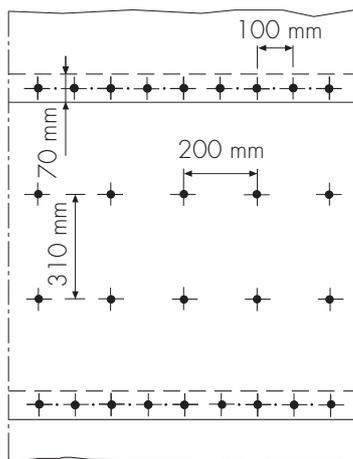
8.2.4.7 FIXATION MÉCANIQUE

La fixation mécanique peut être assurée par clouage ou par vissage.

8.2.4.7.1 CLOUAGE

Les étanchéités bitumineuses peuvent être clouées lorsqu'elles sont fixées directement sur des planchers en bois (comme c'est le plus souvent le cas). Une sous-couche armée de polyester (portant la marque BENOR) est fixée à l'aide de clous galvanisés à tête large, conformément au schéma de la figure 43.

Fig. 43
Clouage des sous-couches d'étanchéité.



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 plancher à travers l'isolation. La fixation se compose d'une vis et d'une plaquette de répartition.

Cette technique s'utilise principalement sur les tôles profilées en acier, bien qu'elle soit applicable à d'autres planchers moyennant des fixations appropriées.

L'étanchéité bitumineuse peut être fixée mécaniquement de deux manières, selon qu'elle est composée d'une ou de plusieurs couches.

8.2.4.7.3 ETANCHÉITÉ MULTICOUCHE

Dans le cas d'une étanchéité multicouche, la première couche armée de polyester est déroulée et fixée mécaniquement selon un schéma régulier (voir §§ 8.2.4.7.1 et 2). Cette sous-couche se compose d'un matériau agréé BENOR ou fait l'objet d'un ATG spécifiquement consacré à cette application.

Le nombre de fixations est défini en fonction 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'ATG de l'étanchéité ou de la fixation.

La sous-couche fixée mécaniquement reçoit ensuite une ou plusieurs couches collées en adhérence totale. Si on ne pose qu'une seule couche complémentaire, cette couche finale doit être assortie d'un ATG pour application monocouche (en adhérence totale).

8.2.4.7.4 ETANCHÉITÉ MONOCOUCHE

Si l'étanchéité ne comprend qu'une seule couche, on utilise des membranes bénéficiant d'un ATG 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 collé sur toute sa largeur (pour la largeur du recouvrement et la ou les techniques de collage à appliquer au recouvrement (figure 44A), cf. l'ATG correspondant)
- ◆ 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 une technique de collage agréée par l'ATG correspondant (figure 44B). Le contre-joint ne constitue pas un problème, pour autant que la pente de la toiture soit suffisante.

Le nombre de fixations est défini en fonction du calcul de l'action du vent et de la valeur de calcul de la résistance utile de la fixation vis-à-vis du vent. Pour connaître cette valeur ainsi que le schéma de pose autorisé, on consultera l'ATG de l'étanchéité monocouche fixée mécaniquement.

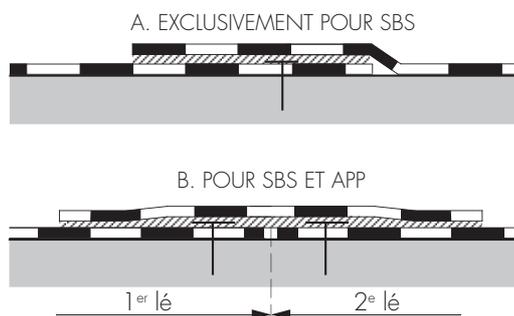


Fig. 44
Fixation mécanique d'étanchéités monocouches.

8.2.4.8 SOUDAGE À L'AIR CHAUD ET SYSTÈMES AUTOCOLLANTS

Il existe d'autres 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, cette technique ne s'utilise que pour souder des raccords locaux ou des recouvrements, car l'énergie qu'elle est susceptible de produire est, à l'heure actuelle, encore trop faible pour permettre de souder des membranes sur toute leur largeur.

Il existe également des membranes autocollantes convenant à la fois pour une pose en indépendance (recouvrement autocollant uniquement), en semi-indépendance et en adhérence totale. Nous renvoyons, en ce qui concerne ces nouveaux produits, aux ATG correspondants.

8.3 ETANCHÉITÉS DE TOITURE SYNTHÉTIQUES

8.3.1 INTRODUCTION

Les matériaux synthétiques, aussi appelés hauts polymères, se composent essentiellement de produits de polymérisation à base d'hydrocarbures insaturés provenant de la pétrochimie. Ils sont transformés en étanchéités sous forme de lés ou de bâches préfabriquées.

Seuls les systèmes bénéficiant d'un ATG sont étudiés dans la présente Note. Les autres ne sont mentionnés qu'à titre d'information.

8.3.1.1 COMPORTEMENT VIS-À-VIS DE LA TEMPÉRATURE

En théorie, les matériaux peuvent passer par les phases suivantes en fonction de la hausse de la température (cf. figure 45) :

- ◆ phase friable : à basse température, tous les matériaux d'étanchéité sont friables, c'est-à-dire qu'ils se cassent lorsqu'on tente de les plier ou de les étirer
- ◆ phase élastique : aux températures rencontrées sur des toitures, l'étanchéité revient à sa forme initiale après avoir été pliée ou étirée. Les chaînes chimiques se déforment, mais conservent leur agencement. Le matériau possède une mémoire de forme lui permettant toujours de retrouver sa forme initiale. C'est ce qu'on appelle le comportement "élastique" du matériau
- ◆ phase plastique : à des températures plus élevées, certains matériaux peuvent se déformer de manière permanente lorsqu'on les plie ou qu'on les étire. Les chaînes chimiques du matériau se déplaçant les unes par rapport aux autres, le matériau prend une nouvelle forme et la conserve. Il est donc sujet à la déformation "plastique"
- ◆ phase liquide : à des températures plus élevées encore, certains matériaux fondent. Les chaînes chimiques se décomposent en unités formant

un liquide visqueux. Après avoir refroidi, ces unités s'associent à nouveau pour reformer des chaînes chimiques. Tel est le cas, par exemple, lors du soudage à chaud des recouvrements de joints en PVC, qui fondent pour former un matériau homogène. On peut également briser ces chaînes chimiques (c'est-à-dire les décomposer en "unités") en les traitant à l'aide d'un solvant. On obtient ainsi, à température ambiante, un liquide. Après évaporation du solvant, les unités se regroupent en chaînes chimiques. C'est ce que l'on appelle le "soudage à froid" ou le "soudage avec solvant"

- ◆ combustion : à très haute température, le matériau réagit avec l'oxygène de l'air pour former de nouvelles substances chimiques qui ne peuvent plus se lier avec les "unités" initiales des chaînes chimiques. Ce phénomène peut se produire lorsqu'on soude un recouvrement avec de l'air trop chaud. Portés à des températures excessives, tous les matériaux perdent leur qualité.

8.3.1.2 CLASSIFICATION

Lors d'un échauffement, tous les matériaux d'étanchéité synthétiques ne passent pas forcément par chacune des phases précitées. Ils se répartissent en trois groupes (figure 45) :

- ◆ les élastomères, qui présentent un comportement élastique tant à basse ($\approx -40\text{ }^\circ\text{C}$) qu'à haute température ($\approx +300\text{ }^\circ\text{C}$) et restent élastiques jusqu'à la phase de combustion
- ◆ les élastomères thermoplastiques (TPE), qui conservent leur comportement élastique jusqu'à $\approx 200\text{ }^\circ\text{C}$ et fondent à partir de $\approx 220\text{ }^\circ\text{C}$, avec entre-temps une phase de plasticité limitée
- ◆ les plastomères (thermoplastiques), qui passent par toutes les phases précitées lorsqu'ils sont chauffés.

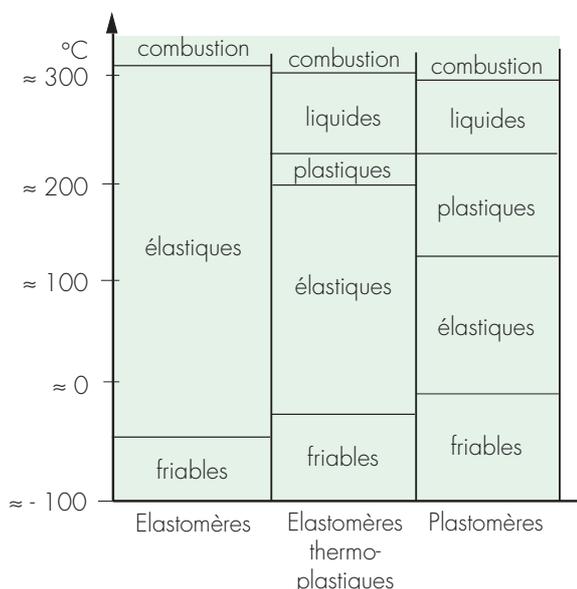


Fig. 45
Représentation schématisée du comportement des étanchéités de toiture synthétiques en fonction de la température.

ELASTOMÈRES	CR	Polychloroprène
	CSM	Polyéthylène chlorosulfoné
	EPDM	Copolymère d'éthylène de propylène et diène-monomère
	IIR	Copolymère d'isoprène et isobutylène (butyle)
	NBR	Caoutchouc nitrile
ELASTOMÈRES THERMOPLASTIQUES	TPV	Elastomère thermoplastique vulcanisé
	TPO	Polyoléfine thermoplastique
PLASTOMÈRES	CPE	Polyéthylène chloré
	ECB	Copolym. d'acétate de vinyle et d'éthylène et bitume
	PIB	Polyisobutylène
	PVC	Chlorure de polyvinyle (souple)
	PVF	Polymère de fluorure de polyvinyle
	EVA	Copolymère d'acétate de vinyle et éthylène

Tableau 30 Aperçu des trois groupes d'étanchéités de toiture synthétiques disponibles sur le marché.

8.3.1.3 ARMATURE - SOUS-FAÇAGE

Selon le procédé de fabrication (laminage, calandrage, 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 de toiture synthétiques peuvent être livrées sous différentes formes :

- ◆ non armées (matériau homogène)
- ◆ avec armature interne, favorisant la stabilité dimensionnelle et/ou thermique
- ◆ avec un sous-façage destiné à :
 - favoriser la stabilité dimensionnelle et/ou thermique
 - favoriser l'adhérence au support
 - servir de couche de désolidarisation en cas d'incompatibilité de l'étanchéité avec la couche sous-jacente.

En guise d'armature ou de sous-façage, on utilise principalement des voiles et des tissus ou on

Tableau 31
Épaisseur nominale minimum des étanchéités de toiture synthétiques les plus utilisées.

MATÉRIAU	ÉTANCHÉITÉ NON ARMÉE	ÉTANCHÉITÉ ARMÉE/ SOUS-FACÉE
CPE	–	1,2 mm
CSM	–	1,2 mm
EPDM	1,1 mm	1,1 mm
PIB	–	1,5 mm
PVC	1,5 mm	1,2 mm
TPO	1,2 mm	1,2 mm
TPV	1,1 mm	1,1 mm

incorpore des fils de verre, de polyester ou de polypropylène.

8.3.1.4 EPAISSEURS

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 31 mentionne l'épaisseur minimum des étanchéités de toiture les plus courantes.

8.3.1.5 DIMENSIONS DES LÉS ET DES BÂCHES

Les lés et les bâches ont les dimensions suivantes :

- ◆ lés :
 - largeur standard : 1 à 1,5 m, avec un maximum d'environ 2 m pour les plastomères et d'environ 3 m pour les élastomères
 - longueur standard : jusqu'à ≈ 25 m
- ◆ bâches : il s'agit de membranes en EPDM abordées au § 8.3.2.1 (p. 66).

8.3.1.6 CARACTÉRISTIQUES

Les étanchéités de toiture synthétiques sont intéressantes en raison de leurs propriétés mécaniques, telles que leur grande élasticité, leur faible poids (épaisseur réduite et exécution monocouche), les possibilités de récupération et de recyclage qu'elles offrent, leur comportement au feu favorable et leur comportement à basses et à hautes températures. De surcroît, elles résistent généralement bien aux produits chimiques et aux agents atmosphériques.

8.3.2 ÉLASTOMÈRES

Les élastomères doivent leur comportement élastique à un processus de vulcanisation à plus de 180 °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 une plus grande longévité. La durée de vie de la toiture dépend toutefois aussi de la technique de pose (type de recouvrement).

Nous avons étudié le vieillissement d'une série d'étanchéités de toiture, notamment en EPDM. La figure 46 présente, à titre d'illustration, le graphique de l'allongement à la rupture au fil du temps. Les propriétés de l'EPDM évoluent relativement peu dans le temps. Les valeurs enregistrées après 17 années d'exposition naturelle restent en effet élevées.

8.3.2.1 EPDM (COPOLYMÈRE D'ÉTHYLÈNE ET PROPYLÈNE ET DIÈNE-MONOMÈRE)

On distingue principalement les étanchéités en EPDM en fonction :

- ◆ de la composition de l'EPDM proprement dit
- ◆ de l'armature/du sous-façage/de la fixation au support
- ◆ du joint de recouvrement.

On consultera l'ATG correspondant pour connaître les techniques autorisées.

8.3.2.1.1 COMPOSITION DE L'EPDM

Certaines étanchéités de toiture 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. 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 - ADHÉRENCE AU SUPPORT

On distingue les étanchéités de toiture suivantes à base d'EPDM :

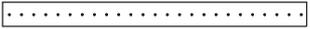
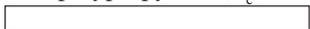
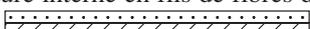
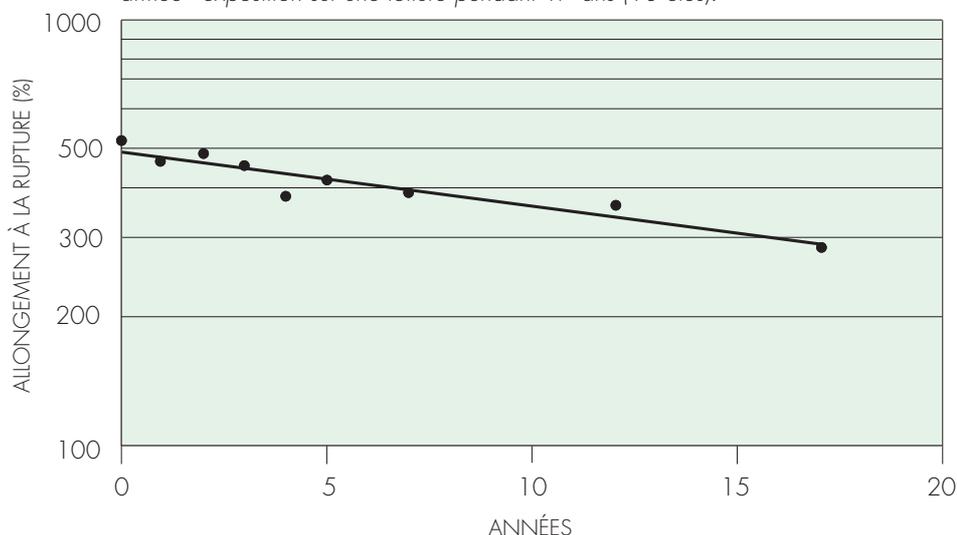
- ◆ sous forme de *lés* :
 - non armés (E_0) : 
 - avec treillis d'armature interne composé de fils de fibres de verre, de tissu en polyester ou de polypropylène (E_1) : 
 - avec sous-façage en voile de verre, voile de polyester ou polypropylène (E_2) : 
 - avec sous-façage en bitume SBS et treillis d'armature interne en fils de fibres de verre : 
- ◆ sous forme de *bâches* : les membranes de grand format sont produites en dimensions standard (jusqu'à 15 m x 60 m) ou fabriquées en atelier aux dimensions de la toiture (jusqu'à ≈ 1000 m²). Ces bâches d'étanchéité sont armées ou non :
 - non armées (E_0) : 
 - avec treillis d'armature interne composé de fils de fibres de verre ou de tissu en polyester (E_1) : 

Fig. 46 Evolution de l'allongement à la rupture d'une membrane en EPDM non armée - exposition sur une toiture pendant 17 ans (18 étés).



L'adhérence au support dépend de l'armature ou du sous-façage éventuel (tableau 32). Les types de support (plancher de toiture et/ou isolation) sont présentés au tableau 36 (p. 76).



Fig. 47 Joint de recouvrement avec bande distincte.

8.3.2.1.3 ASSEMBLAGE DES RECOUVREMENTS

Un élastomère ne pouvant ni fondre ni ramollir, le recouvrement ne peut être rendu étanche que par 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 (fig. 47); on risque en effet un manque d'étanchéité si le sous-façage se prolonge dans le recouvrement.

Les recouvrements sont rendus étanches par :

- ◆ *collage à froid* :
 - avec colle de contact à base de butyle ou de polychloroprène
 - avec bandes de butyle autocollantes
 - par un agent provoquant une réaction chimique entraînant une liaison chimique non élastique.

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

(type de colle, mode de fixation, ...) et est comprise entre 50 et 150 mm.

Les colles de contact et les bandes de butyle sont sensibles à la température et à l'humidité (min. + 5 °C et max. 80 % d'humidité de l'air), ce qui rend leur application critique en hiver. Leur faible adhérence ayant causé de nombreux problèmes dans le passé, les fabricants ont aujourd'hui mis au point des produits de meilleure qualité. Le collage à froid réclame cependant davantage de contrôle et d'entretien que les autres méthodes.

La plupart des joints de recouvrement en T doivent être scellés à l'aide d'une pâte appropriée pour remplir le vide créé. Pour les assemblages par bandes, il peut être nécessaire de chanfreiner le recouvrement en T.

Les joints de recouvrement réalisés à l'aide de colle de contact sont généralement scellés à l'aide d'un mastic (voir ATG et figure 48).

Si l'on utilise des bandes, celles-ci doivent dépasser le recouvrement de 3 mm au moins

Tableau 32 Fixation d'une étanchéité en EPDM sur le support (tableau 36) en fonction du type d'armature.

TYPE DE FIXATION		LÉS D'ÉTANCHÉITÉ				BÂCHES D'ÉTANCHÉITÉ (f)
		Eo	Ei	Ec	Eb	
En indépendance avec lestage (e)		X	X	X	X	X
En semi-indépendance	- colle à froid (a)	–	X	X	X	–
	- bitume chaud (b)	–	–	(X)	X	–
En adhérence totale	- colle à froid (a)	X	X	X	X	–
	- bitume chaud (b)	–	–	X	X	–
	- soudage à la flamme	–	–	–	X	–
Fixation mécanique (c), (d), (e)		X	X	X	X	X

X : admis

(X) : admis, mais pas courant

– : non autorisé

(a) Types de colle à froid : colle de contact, colle à base de polyuréthane, colle bitumineuse à froid.

Membranes d'étanchéité, colles et isolation doivent être compatibles. Les ATG concernés mentionnent, pour chaque produit, les colles entrant en ligne de compte.

(b) Pour éviter les ondulations, on utilisera exclusivement un bitume présentant une température de ramollissement suffisamment élevée (110/30) ou un bitume modifié.

(c) Cf. § 8.3.6.3.2 (p. 75) pour les types de fixation.

(d) Résistance à la déchirure par clouage supérieure à 150 N en cas de fixation mécanique dans le recouvrement (ATG).

(e) Les membranes non armées et certaines membranes sous-facées de polyester nécessitent une fixation périphérique pour résister aux mouvements thermiques (ATG).

(f) Les bâches d'étanchéité de grande dimension s'avèrent difficiles à coller en raison des risques de formation de plis et des difficultés causées par le vent lors de la pose.

Fig. 48 Joint de recouvrement avec finition au mastic.



- ◆ *soudage à l'air chaud* :
 - de lés en polyéthylène soudable
 - de bandes de butyle soudable, éventuellement sur un support en EPDM
 - d'EPDM avec, sur la face inférieure, du bitume SBS
 - de bandes de TPE sur un support en EPDM ou sur des bandes en TPE.

La bande soudable peut s'appliquer de trois manières différentes :

- soit elle est apposée à la face inférieure du lé lors de sa fabrication en usine
- soit elle est appliquée en usine sur un support en EPDM, pour être soudée ensuite à l'étanchéité en recouvrant le joint (réalisé en une ou deux passes)
- soit elle est posée sous forme de bande à souder préalablement sur le lé inférieur; le lé suivant y est alors soudé.

Ce genre d'assemblage n'est sensible ni à l'humidité ni à la température et est plus solide que le collage à froid

- ◆ *vulcanisation* : lorsque la toiture présente des formes simples, avec peu de percements, le joint de recouvrement peut être vulcanisé sur chantier. On ajoute dans le recouvrement une bande d'EPDM non vulcanisée. La vulcanisation se fait ensuite à haute température et sous pression (*hot-bonding*). On obtient ainsi de grandes bâches d'étanchéité préfabriquées. Cette technique permet un assemblage homogène.

La vulcanisation sur chantier est un procédé coûteux et limité, techniquement parlant, à des formes simples. C'est pourquoi les joints de recouvrement sur toiture sont le plus souvent soudés à l'air chaud ou collés à froid.

8.3.2.1.4 DÉTAILS DE TOITURE

La plupart des fabricants d'EPDM fournissent des pièces moulées préfabriquées et/ou de l'EPDM non vulcanisé pour le raccord des angles, le passage des conduites et des écoulements. Ces matériaux facilitent considérablement la mise en œuvre.

Les consignes du fabricant doivent toujours être scrupuleusement respectées. En ce qui concerne l'application des accessoires, une concertation entre le concepteur et l'exécutant est souhaitable.

8.3.2.2 CSM (POLYÉTHYLÈNE CHLOROSULFONÉ)

Comparé aux autres élastomères, le polyéthylène chlorosulfoné présente la particularité de se vulcaniser sur la toiture sous l'effet des rayons UV.

Les lés étant livrés à l'état thermoplastique, les recouvrements peuvent être soudés (et donc fondus), ce qui permet d'obtenir un joint de recouvrement homogène.

Vu la vulcanisation lente du matériau à température ambiante, le soudage à l'air chaud devient de plus en plus difficile à mesure que le matériau vieillit, ce qui oblige à entreposer les lés à l'abri de la lumière et des hautes températures et à prévoir la pose dans les six mois suivant la production.

Les lés sont sous-facés d'un voile ou armés d'un treillis de polyester. Ils peuvent être teintés dans la masse.

Si l'étanchéité est posée en indépendance sur le support ou y est fixée mécaniquement, on utilise un lé armé d'un treillis de polyester. En cas de pose en adhérence totale, on applique un lé sous-facé d'un voile que l'on fixe à l'aide d'une colle à froid appropriée.

L'assemblage du recouvrement s'opère à l'air chaud ou en combinaison avec une colle de contact de polychloroprène. Il peut s'avérer nécessaire de traiter préalablement la surface à l'aide d'un solvant. En cas de réparation ou de raccordement à des lés existants, la surface de soudage doit faire l'objet d'un traitement préliminaire au moyen d'un produit adéquat pour assurer l'adhérence avec le matériau vulcanisé. Le nouveau lé ou la nouvelle bande y est alors soudé(e) à l'air chaud.

8.3.2.3 IIR (BUTYLE)

Les lés de IIR ne sont pas armés. Ils sont posés en indépendance, avec lestage, ou fixés à l'aide d'une colle à émulsion adaptée.

Le matériau étant étanche à la vapeur, l'usage de solvants pour réaliser les recouvrements est exclu. On utilisera donc :

- ◆ des bandes de butyle adhésives combinées à un activateur ou
- ◆ une pâte adhésive.

Ce type de joints de recouvrement ramollit lorsque la température dépasse + 70 °C. Les lés exigent dès lors une exécution avec lestage ou une peinture réfléchissante compatible.

8.3.2.4 CR (POLYCHLOROPRÈNE)

Le matériau est ininflammable (classe de réaction au feu A1 selon la norme NBN S 21-203 [27]) grâce à sa teneur élevée en chlore. Le CR est moins résistant aux UV que l'EPDM.

Le lé est livré avec un sous-façage en voile de verre, ce qui permet de le fixer à l'aide de bitume chaud ou de colle synthétique à froid. Les recouvrements sont rendus étanches à l'aide de colle de contact de polychloroprène, sans qu'il soit nécessaire de reboucher le joint au mastic.

8.3.2.5 NBR (NITRILE, AUSSI APPELÉ CAOUTCHOUC NITRILE BUTADIÈNE)

Le NBR résiste au gonflement, ce qui lui confère une résistance chimique élevée aux graisses et huiles animales et végétales, aux produits pétroliers (essence, kérosène, ...), à l'acide lactique, etc. Il s'utilise surtout dans les environnements soumis à de fortes contraintes chimiques.

Le lé est livré avec un sous-façage en voile de verre, ce qui permet de le fixer à l'aide de bitume chaud ou de colle synthétique à froid. Les recouvrements sont rendus étanches au moyen de colle au nitrile bicomposant.

8.3.3 ELASTOMÈRES THERMOPLASTIQUES - TPE

Ces matériaux se composent d'un mélange d'élastomères et de plastomères.

8.3.3.1 TPV (ÉLASTOMÈRE THERMOPLASTIQUE VULCANISÉ)

Il s'agit d'un nouveau type de membrane, composée d'un assemblage de polymères élastomères et plastomères vulcanisés. Les lés peuvent être teintés dans la masse et possèdent une bonne résistance aux rayons UV et aux produits chimiques. Ils se comportent comme le caoutchouc et présentent une élasticité comparable. Ils sont pourvus d'une armature interne ou d'un sous-façage; les systèmes de fixation sont les mêmes que pour l'EPDM. Les recouvrements peuvent être soudés de manière homogène à l'air chaud, à l'instar des plastomères.

8.3.3.2 TPO (POLYOLÉFINE THERMOPLASTIQUE)

Les lés de toiture en TPO ou en FPO (polyoléfine souple) sont de nouveaux matériaux à base de co-

polymères de polypropylène. Ils ne contiennent aucun plastifiant. Ils peuvent être teintés dans la masse et offrent une bonne résistance aux rayons UV et aux produits chimiques. Ils existent en versions non armée, armée et sous-facée d'un voile.

Les techniques de pose sont semblables à celles des lés de toiture en PVC, si ce n'est que les recouvrements ne permettent qu'un soudage thermique.

8.3.4 PLASTOMÈRES (THERMOPLASTIQUES)

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). Il est également possible d'obtenir un soudage homogène par procédé chimique, en faisant usage d'un solvant (soudage au solvant).

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 plus en détail ci-après.

8.3.4.1 PVC (CHLORURE DE POLYVINYLE)

Les étanchéités en PVC se distinguent principalement par :

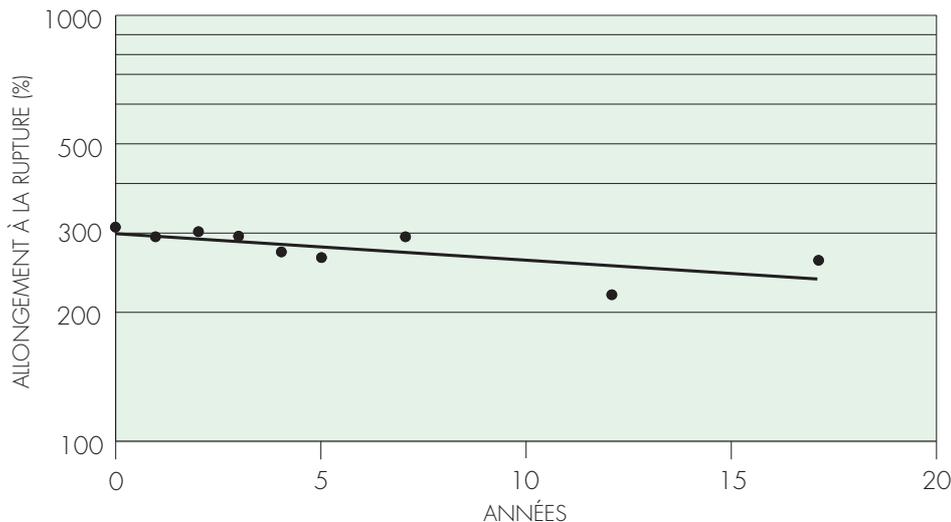
- ◆ leur composition
- ◆ le type d'armature/de sous-façage et de fixation au support
- ◆ le type de joint de recouvrement.

8.3.4.1.1 COMPOSITION DES ÉTANCHÉITÉS EN PVC

Le PVC pour les étanchéités de toiture renferme entre 28 et 40 % de plastifiant. La couleur standard est le gris clair, mais le lé peut être teinté dans la masse. La résistance du PVC à la diffusion de vapeur est faible par rapport aux autres matériaux d'étanchéité.

Outre le plastifiant et la résine à base de PVC, le lé d'étanchéité contient également une quantité plus ou moins importante de stabilisateurs 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

Fig. 49
Evolution du comportement du PVC non armé en cas d'allongement à la rupture. Exposition sur une toiture pendant 17 ans (18 étés).



de ces rayons. Les relevés de toiture doivent, quant à eux, être protégés des UV. Il est, du reste, toujours conseillé d'opter pour un lé d'étanchéité résistant aux UV (notamment parce qu'une partie du gravier risque d'être entraînée par le vent).

Si l'étanchéité en PVC entre en contact avec du bitume (p. ex. une étanchéité bitumineuse existante), avec du polystyrène expansé ou extrudé ou du polyuréthane pourvu d'un parement non adapté, il y a lieu de prévoir une couche de désolidarisation, à moins que le lé d'étanchéité en PVC ne soit pourvu d'un voile de polyester ou n'ait été renforcé 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 micro-organismes attaquant les plastifiants.

Le comportement du PVC au vieillissement a également fait l'objet d'études. La figure 49 illustre l'évolution dans le temps de l'allongement à la rupture. On constate que les propriétés n'évoluent guère au fil du temps.

8.3.4.1.2 TYPES D'ARMATURE/DE SOUS-FAÇAGE - ADHÉRENCE AU SUPPORT

- On distingue les lés d'étanchéité en PVC suivants :
- ◆ non armés (Po) :
 - ◆ avec armature interne en voile de verre (Pi) :
 - ◆ avec armature interne en tissu de polyester (Pi) :
 - ◆ avec armature interne en voile de verre et sous-façage en voile de polyester (Pci) :
 - ◆ avec sous-façage en voile de polyester (Pc) :

L'adhérence au support dépend de l'armature ou du sous-façage éventuel (tableau 33). Les types de plancher de toiture et/ou d'isolation sont précisés au tableau 36 (p. 76).

8.3.4.1.3 ASSEMBLAGE DES RECOUVERMENTS

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). 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 (ATG).

◆ Soudage à l'air chaud

Cette technique est la plus courante et peut s'effectuer 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 (ATG).

◆ Soudage avec solvant

Les lés d'étanchéité de toiture 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 tempé-

Tableau 33 Fixation du PVC sur le support en fonction du type d'armature/de sous-façage (voir aussi tableau 36).

TYPE DE FIXATION	P _o 	P _i 	P _i 	P _{ci} 	P _c 
En indépendance avec lestage (a)	(X)	X	(X)	(X)	(X)
En semi-indépendance (b) avec :					
- colle à froid (c)	-	-	-	X	X
- bitume chaud (d)	-	-	-	X	X
Fixation mécanique	X	(X)	X	(X)	(X)

X : admis

(X) : admis, mais pas courant

- : non autorisé

(a) Les lés d'étanchéité de toiture en PVC lestés sont généralement pourvus d'une armature en voile de verre.

(b) Les lés d'étanchéité de toiture sont, dans ce cas, sous-facés d'un voile pour conférer à la colle une meilleure adhérence.

(c) Colle à froid/colle PUR : lé et colles doivent être compatibles (ATG).

(d) L'étanchéité doit être pourvue, entre le sous-façage en voile de polyester et la couche en PVC, d'un film résistant au bitume ou doit elle-même être résistante au bitume. Le bitume est généralement coulé en zigzag.

ratures 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 lorsque l'humidité relative de l'air est supérieure à 70 %.

Cette méthode est davantage tributaire des conditions météorologiques que le soudage à l'air chaud (température et humidité de l'air sur le chantier) et produit une soudure moins régulière.

◆ *Soudage à haute fréquence et soudage à l'aide d'un coin chauffant*

Ces deux méthodes ne s'appliquent qu'aux travaux d'étanchéité des ouvrages de génie civil et des étangs de jardin.

8.3.4.1.4 FIXATION PÉRIPHÉRIQUE

Les étanchéités de toiture en PVC se caractérisent par un retrait plus ou moins important selon qu'elles sont non armées ou armées de polyester (retrait important) ou qu'elles sont armées d'un voile de verre (retrait moindre).

Il faut dès lors appliquer une fixation périphérique à la transition entre le plan horizontal et le plan vertical ainsi qu'autour de tous les raccords, sauf dans le cas d'étanchéités en PVC armées d'un voile de verre et lestées (donc en indépendance).

Dans le cas des lés d'étanchéité homogènes, cette fixation est réalisée au moyen de tôles en acier revêtues de PVC sur lesquelles on soude le lé. En ce qui concerne les lés d'étanchéité en PVC armés de polyester, elle peut également s'opérer par vissage et à l'aide de plaquettes de répartition. Pour les étanchéités collées, on peut prévoir une zone de pose en adhérence totale (ATG).

8.3.4.2 CPE (POLYÉTHYLÈNE CHLORÉ)

Les étanchéités en CPE se distinguent principalement par leur composition, leur armature et leur mode de fixation.

8.3.4.2.1 COMPOSITION DES ÉTANCHÉITÉS EN CPE

Les lés d'étanchéité en CPE, de couleur standard grise, sont résistants aux rayons UV, présentent une réaction au feu A1 et une bonne résistance aux agents chimiques ainsi qu'au bitume.

8.3.4.2.2 TYPES D'ARMATURE ET TECHNIQUES DE FIXATION

On distingue les deux types d'étanchéité en CPE suivants :

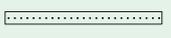
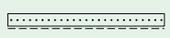
◆ avec armature interne en tissu de polyester :



◆ avec armature interne en tissu de polyester et sous-façage en voile de polyester :



Tableau 34 Fixation des étanchéités en CPE sur le support (voir aussi tableau 31).

TYPE DE FIXATION		
En indépendance + lestage	X	(X)
En semi-indépendance (a)	–	X
Fixation mécanique (b)	X	X

(X) : déconseillé
 X : admis
 – : non autorisé
 (a) Le collage en semi-indépendance peut être réalisé à l'aide de colle PUR (avec ATG) ou de bitume chaud (coulé en zigzag).
 (b) On utilise surtout, à cet effet, des lés d'étanchéité armés d'un tissu de polyester.

L'adhérence au support dépend de l'armature ou du sous-façage éventuel (tableau 34). Les types de support (plancher et/ou isolation) sont précisés au tableau 36 (p. 76).

8.3.4.2.3 ASSEMBLAGE DES RECOUVREMENTS

Les recouvrements des lés d'étanchéité en CPE sont soudés de manière homogène à l'air chaud ou au moyen d'un solvant (tétrahydrofurane THF). 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. On peut ensuite sceller le joint de recouvrement à l'aide d'une pâte en CPE. L'opportunité de ce scellement complémentaire dépendra du type de lé et de l'application (cf. ATG correspondant).

8.3.4.2.4 FIXATION PÉRIPHÉRIQUE

Étant donné que les lés de toiture en CPE subissent un léger retrait, il faut appliquer, le long des rives et autour de toutes les pénétrations de toiture, une fixation périphérique, qui peut être assurée au moyen de tôles en acier revêtues de CPE sur lesquelles on soude le lé d'étanchéité, ou au moyen de vis et de plaquettes de répartition.

8.3.4.3 PIB (POLYISOBUTYLÈNE)

Outre le polyisobutylène, le lé d'étanchéité contient des pigments et des charges minérales. Le PIB présente une résistance élevée à la diffusion de vapeur. Les étanchéités de toiture en PIB sont 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 au moyen de bitume chaud ou d'une colle synthétique appropriée (ATG)
 - pose en adhérence totale au moyen d'une colle synthétique appropriée (ATG)
- ◆ fixation mécanique à l'aide de bandes spéciales insérées sous le lé.

Le joint de recouvrement longitudinal est réalisé au moyen de lés autocollants appliqués d'un seul côté en usine. Après nettoyage du lé d'étanchéité inférieur à l'aide d'un liquide approprié, les deux lés sont pressés l'un contre l'autre à l'aide d'un rouleau. Les recouvrements deviennent immédiatement étanches à l'eau. La résistance mécanique n'est complète qu'après polymérisation (≈ 24 heures).

Le soudage à l'air chaud est possible, mais n'est pas pratiqué car il demande beaucoup de temps.

Les recouvrements transversaux sont réalisés à l'aide de bandes de PIB à deux bords autocollants ou par soudage à l'aide d'un solvant adéquat. Les joints transversaux sont enduits d'une pâte polymère appropriée.

8.3.4.4 ECB (COPOLYMÈRE D'ÉTHYLÈNE ET BITUME)

L'ECB est un mélange de couleur noire, composé de polymères, de bitume et d'adjuvants. Les lés, relativement rigides, sont revêtus d'une armature en voile de verre ou en voile de polyester, ou d'une combinaison des deux.

Ils peuvent être posés en indépendance avec lestage, collés ou fixés mécaniquement. Le joint de recouvrement est réalisé à l'air chaud.

L'armature en voile de verre ne peut pas être humidifiée en raison des problèmes de cohésion interne susceptibles de survenir et du retrait qui en résulte.

8.3.4.5 EVA (ÉTHYLÈNE/ACÉTATE DE VINYLE)

Un lé en EVA se compose d'éthylène/acétate de vinyle et de PVC. Selon l'application, les lés sont homogènes, armés d'un tissu de polyester ou de verre, ou sous-facés d'un voile de polyester. Les recouvrements sont soudés à l'air chaud.

8.3.5 AGRÈMENTS TECHNIQUES

Le tableau 35 reprend la liste des étanchéités de toiture synthétiques assorties d'un agrément technique valable à la date de rédaction de la présente NIT. A titre d'information, la durée de validité d'un agrément technique est de trois ans.

8.3.6 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'ATG. La pose doit en outre être assurée par un personnel dûment formé à cet effet.

Le tableau 36 présente les possibilités de fixation des étanchéités synthétiques en fonction du support.

Le mode de pose dépend de la présence éventuelle d'une armature et/ou d'un sous-façage. Le tableau 36 reprend les techniques de pose les plus courantes. Des exceptions sont prévues pour certains matériaux ou systèmes d'armature. Si une

Tableau 35

Étanchéités de toiture synthétiques avec agrément technique (situation au moment de la rédaction de la présente NIT).

N° D'ATG	MARQUE	TYPE	FIRME
1447	Carlisle Sure Seal EPDM	EPDM	Carlisle Syntec Inc
1740	Prelasti EPDM	EPDM	Prelasti
1870	Firestone EPDM Standaard	EPDM	Firestone Building Products
1957	Hertalan Code 81360	EPDM	Hertel
1985	Carlisle Sure Seal Reinforced EPDM	EPDM	Carlisle Syntec Inc
2038	Superseal FR	EPDM	Wulva
2182	Giscolene 120/150	EPDM	Isoall
2246	Prelasti no flam	EPDM	Prelasti
2247	Tridex Code 84460	EPDM	Hertel
2248	UVB Code 92640	EPDM	Trelleborg Building Products
2249	Firestone EPDM FR	EPDM	Firestone Building Products
2383	Hertalan FR Code 83575	EPDM	Hertel
1790	Resitrix MB en Resitrix Classic	EPDM/SBS	Phoenix
2352	Resitrix SK	EPDM/SBS	Phoenix
1461	Flexsom A	PVC	Alkor Draka
1474	Alkorplan 35177	PVC	Alkor Draka
1707	Alkorplan 35170, 35270, 35176, 35276	PVC	Alkor Draka
1728	Trocal S	PVC	Sika Trocal
1743	Sikaplan 12G, 15G	PVC	Sika Trocal
1779	Trocal SGmA	PVC	Sika Trocal
1829	Trocal SG	PVC	Sika Trocal
1866	Alkorplan 35078, 35179	PVC	Alkor Draka
1991	Sarnafil S	PVC	Sarna Benelux
1992	Sarnafil G	PVC	Sarna Benelux
2019	Rhenofol CG	PVC	Braas
2020	Rhenofol CV	PVC	Braas
2081	Trocal SV	PVC	Sika Trocal
2082	Wolfen IB	PVC	Grunau
2184	Trocal Rk	PVC	Sika Trocal
2250	Alkorplan 35376, 35370	PVC	Alkor Draka
2251	Trocal S-A1-F	PVC	Sika Trocal
2252	Sikaplan 12VG, 15VG	PVC	Sika Trocal
2253	Trocal SV-A1-F	PVC	Sika Trocal
2348	Vinalan NP et N	PVC	Aliso
2357	PVC 200D, 400D	PVC	Van Besouw
1731	Alkorflex 35096	CPE	Alkor Draka
1865	Alkorflex 35098	CPE	Alkor Draka
1375	Rhepanol fk	PIB	Braas

Remarque : une version actualisée de ces informations peut être consultée sur le site Internet de l'UBAtc : <http://www.ubatc.be>.

sous-couche est requise, on utilise les mêmes lés bitumineux que ceux mentionnés comme sous-couches au § 8.2.1 (p. 50).

Les étanchéités synthétiques avec recouvrement de joint homogène (c'est-à-dire sans adjonction de matériau comme dans le cas du PVC et de l'EPDM vulcanisé - cf. ATG correspondant) sont résistantes aux racines.

8.3.6.1 POSE EN INDÉPENDANCE

Les étanchéités posées en indépendance avec les- tage doivent résister aux micro-organismes.

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 nécessaire de prévoir une fixation mécanique complémentaire au pied des relevés.

8.3.6.2 EXÉCUTION COLLÉE

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 de compenser efficacement les rugosités du support.

La colle doit notamment répondre aux exigences suivantes :

- ◆ adhérence efficace et rapide
- ◆ bonne résistance à l'eau (c'est-à-dire à la condensation interne, aux infiltrations d'eau pendant la pose et aux fuites éventuelles), aux hautes températures et aux basses températures
- ◆ compatibilité avec le lé de toiture et le support
- ◆ bonne résistance aux contraintes dynamiques (lé souple et élastique).

Les techniques qui répondent actuellement à ces critères sont :

- ◆ le collage simple face à l'aide de colle PUR, 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.

Si l'on utilise malgré tout des lés non sous-facés, l'encollage s'effectue généralement à l'aide de colle de contact, pour obtenir une bonne adhérence de la colle.

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 de toiture; elle permet en outre de compenser la pression de l'air (pas de boursouflures). 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. ATG correspondant).

La quantité de colle consommée 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 alors s'avérer nécessaire de prévoir une fixation mécanique complémentaire dans la partie supérieure.

8.3.6.3 FIXATION MÉCANIQUE

8.3.6.3.1 GÉNÉRALITÉS

La fixation mécanique représente une solution avantageuse sur des supports vissables ou clouables (composition de toiture légère, 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'ATG correspondant.

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 (ATG).

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 n'est pas autorisée.

On consultera l'ATG de la membrane synthétique à appliquer 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.

8.3.6.3.2 SYSTÈMES DE FIXATION MÉCANIQUE

On distingue les systèmes de fixation mécanique suivants :

- ◆ pour les lés non sous-facés : la méthode illustrée à la figure 50 ne peut s'appliquer qu'aux lés présentant une résistance suffisante à la déchirure au clou (150 N au minimum) et un joint de recouvrement suffisamment résistant (les bandes ne conviennent pas).

En cas d'EPDM non armé, la fixation dans le recouvrement ne peut dès lors s'opérer que selon le schéma de la figure 51.

Le collage non apparent n'est pas réparable et doit donc être effectué avec le plus grand soin

- ◆ pour les lés sous-facés (EPDM) : dans le cas des lés entièrement sous-facés, le joint de recouvrement peut seulement être réalisé au moyen d'une autre bande non sous-facée (figure 52)
- ◆ à travers la membrane de toiture : il convient de prévoir une bande de protection complémentaire lorsque la fixation s'effectue par vis et plaquettes de répartition sur des lattes d'ancrage, à travers la membrane (figure 53)
- ◆ à l'aide d'une plaquette ronde en plastique à visser, recouverte sur la face inférieure d'un disque d'EPDM débordant sur tout le pourtour et, sur la face supérieure, d'une masse fusible réchauffée au moyen d'un appareil spécial que l'on presse sur la plaquette ronde après la mise en œuvre de l'étanchéité en EPDM (figure 54)
- ◆ sous l'étanchéité : on fixe d'abord mécaniquement une plaque métallique plastifiée ou une bande tirée du même lé synthétique. La membrane de toiture est soudée ou collée sur la plaque métallique ou la bande synthétique (voir figure 55).

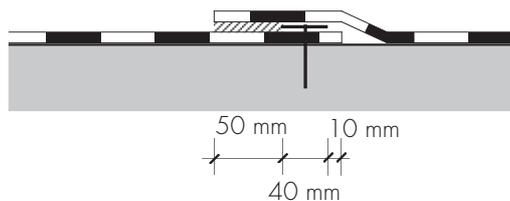


Fig. 50
Fixation mécanique des lés non sous-facés.

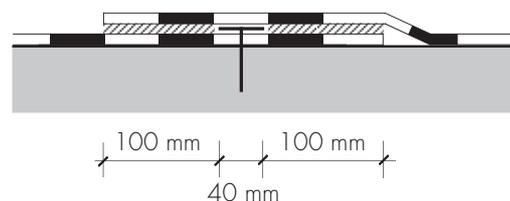


Fig. 51
Fixation dans le recouvrement en cas d'EPDM non armé.

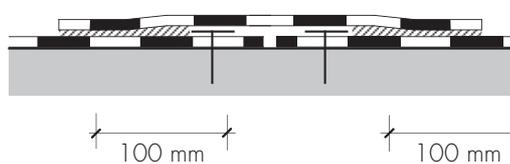


Fig. 52
Fixation dans le recouvrement en cas de lés entièrement sous-facés.

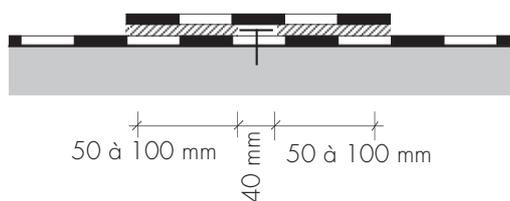
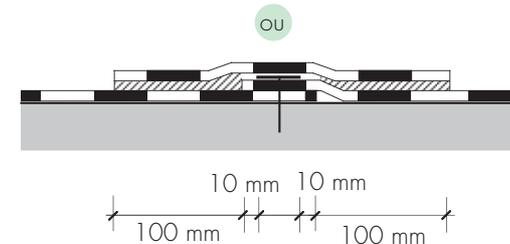


Fig. 53
Fixation à travers la membrane de toiture.

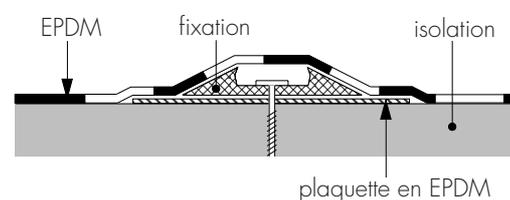


Fig. 54
Fixation par serrage pour l'EPDM non sous-facé.

Fig. 55 Fixation mécanique sous l'étanchéité (deux méthodes sont possibles).

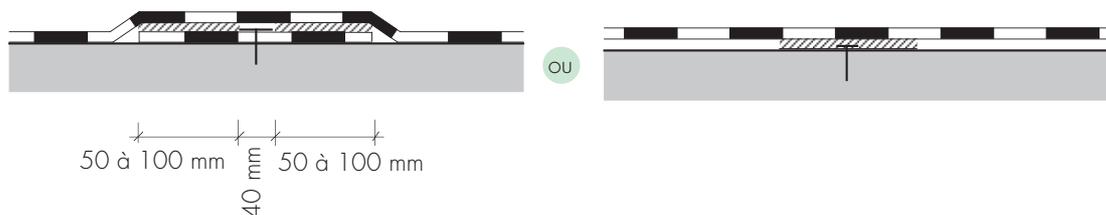


Tableau 36 Techniques courantes de pose des étanchéités synthétiques en fonction du support.

POSE DE L'ÉTANCHÉITÉ SUR LE SUPPORT	TYPE DE MEMBRANE	TOITURES ISOLÉES ⁽²⁾					ETAN-CHÉITÉ BITUMI-NEUSE EXISTANTE ⁽³⁾	TOITURES NON ISOLÉES ⁽²⁾					
		PUR/PIR REVÊTU	PF REVÊTU	EPS		CG VERRE CELLULAIRE		MMW, EPB, ICB	BÉTON ET BÉTON DE PENTE LÉGER	PAINNEAUX EN BÉTON CELLULAIRE	MULTIPLIX, PAINNEAUX AGGLO-MÉRÉS EN FIBRO-CIMENT	PLAQUES DE CO-PEAUX DE BOIS AGGLO-MÉRÉS AU CIMENT	PLANCHER
				NON REVÊTU	REVÊTU								
L En indé- pendance	LL	X	X	X	(X) (7)	(X)	X	X	X	(X)	(X)	(X)	
	T En adhé- rence totale	TC	X	-	X	(8)	-	X (13)	X (1)	X (3)	X (4)	X (4)	-
		TS	-	-	-	(10)	X	-	-	-	-	-	-
		TB	-	-	-	(X)	-	X	X (1)	X (3)	X (4)	X (3)	-
P En semi- indépen- dance	PB	X	-	-	X (8)	-	-	X	X (3)	X (4)	X (3)	-	
	PC	X (15)	-	X (14)	X (8)	-	-	X	X (3)	X (4)	X (3)	(X)	
M Fixation mécani- que (2)	MV	Admise sauf pour le verre cellulaire.											
	MN	Fixation dans le support (vissage uniquement) : cf. "toitures non isolées" .											
<p>X : admis (X) : admis, mais peu usuel Po : le plastomère non revêtu Pi : le plastomère avec armature interne Pc : le plastomère revêtu d'un voile ou d'un film de polyester avec ou sans armature interne</p> <p>(1) Pour éviter les boursouffures, la pose en adhérence totale ne sera réalisée que sur des toitures lestées ou sur béton sec. (2) Dans le cas des toitures isolées, la fixation se fait dans le plancher de toiture, à travers l'isolation. Il en va de même pour les étanchéités bitumineuses existantes. (3) 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 bitume et limiter l'influence des mouvements. (4) Des bandes libres sont posées sur les joints d'about. (5) L'entrepreneur d'étanchéité peut, au besoin, informer son client du règlement thermique. (6) Les étanchéités de toiture sans sous-façage ne peuvent s'appliquer que si elles sont compatibles avec le bitume (cf. également le chapitre 10). (7) On colle toujours une première couche (min. V50/16) en adhérence totale à l'aide de bitume oxydé. Une étanchéité peut ensuite être posée en indépendance. (8) On colle toujours une première couche (min. V50/16) en adhérence totale à l'aide de bitume oxydé. Une étanchéité peut ensuite être posée en semi-indépendance.</p>													
<p>- : non autorisé Eo : le élastomère non revêtu Ec : le élastomère revêtu d'un voile ou d'un film de polyester Eb : le élastomère avec sous-façage bitumineux et armature interne Ei : le élastomère avec armature interne</p> <p>(9) On colle toujours une première couche (min. V 50/16) à l'aide de bitume oxydé. Une étanchéité peut ensuite être posée en adhérence totale. (10) On colle toujours une première couche (min. V 50/16) à l'aide de bitume oxydé. Une étanchéité peut ensuite être soudée en adhérence totale. (11) La fixation se fait à travers le béton de pente, dans le plancher en béton sous-jacent. (12) On utilise des clous spécialement conçus pour cet usage. (13) Cette pose ne se prête pas aux panneaux MMW non parementés; il convient d'utiliser exclusivement des étanchéités sous-facées (de type Pc - Ec - Eb). Technique difficile à réaliser en pratique étant donné la longueur variable des vis. (14) Autorisé uniquement sur panneaux en EPS non parementés si on utilise de la colle PUR sans solvant. (15) Autorisé également sur les panneaux sandwichs PUR à parement métallique. (16) Uniquement applicable sur support sec.</p>													

8.4 ÉTANCHÉITÉS MISES EN ŒUVRE À L'ÉTAT LIQUIDE

Les produits d'étanchéité liquides (mis en œuvre par pistola-ge, par coulage et étalage, à la brosse) sont, la plupart du

temps, appliqués en deux couches sur des supports stables (béton, étanchéité existante, ...), avec interposition d'une armature.

Avant que le film ne soit constitué, le produit est plus ou moins sensible aux conditions atmosphériques (température, humidité, ...) et au degré d'humidité du support. Il faut un certain temps avant que la couche ne soit résistante à la pluie et au gel. Les systèmes pistolés sont, pour cette raison, plus délicats que les étanchéités fabriquées en usine et exigent dès lors une mise en œuvre soignée – notamment une épaisseur adaptée – réalisée par un personnel spécialement formé à cette intention.

La plupart des systèmes conviennent surtout dans le cadre de travaux de rénovation. Leur champ d'application et les incompatibilités éventuelles sont décrits dans l'agrément technique correspondant.

Le tableau 37 mentionne les produits d'étanchéité liquides assortis d'un agrément technique au moment de la rédaction de la présente NIT.

8.5 CONTRÔLE DE L'ÉTANCHÉITÉ À L'EAU DES REVÊTEMENTS

La mise sous eau d'une toiture plate présentant une pente légère ou sans pente permet de dé-

terminer si le revêtement est ou non étanche à l'eau au moment de l'essai. Cette procédure est utile pour les toitures sans pare-vapeur, surtout lorsque l'étanchéité n'est plus accessible *a posteriori* (toitures-parkings, toitures vertes, ...).

L'essai a généralement lieu immédiatement après les travaux de finition de l'étanchéité et de ses raccords ou à l'occasion de la réception provisoire.

On détermine si la toiture considérée peut ou non être mise sous eau en fonction de la pente qu'elle présente et de la capacité portante du plancher.

Confiée de préférence à l'entrepreneur d'étanchéité, la mise sous eau constitue une intervention coûteuse à ne pas sous-estimer, qui implique l'acheminement de l'eau jusqu'au niveau du toit.

Si les toitures présentent une pente supérieure à 2 %, la mise sous eau ne peut généralement être menée jusqu'en haut de la pente, sous peine de débordements au niveau le plus bas de la toiture. Dans ce cas, un cloisonnement intermédiaire peut être installé.

Tableau 37
Produits d'étanchéité
liquides avec
agrément technique
(situation au moment
de la rédaction de
la présente NIT).

N° D'ATG	MARQUE	TYPE	FIRME
1827	Kemperol DD/DP	résine de polyester	DTE
1896	Decothane SP	résine de polyuréthane	Pentagon Plastics
Remarque : une mise à jour de ces informations est disponible sur le site Internet de l'UBA ^t c : http://www.ubatc.be .			

Tableau 38
Produits de
rénovation (avec
agrément technique)
pour étanchéités
existantes sur toitures
en pente (situation au
moment de la
rédaction de la
présente NIT).

N° D'ATG	MARQUE	TYPE	FIRME
H648	Dakfill-New	copolymères acryliques	Mathys
H665	Decadex AC	copolymère butadiène-styrène	Pentagon Plastics
Remarque : une mise à jour de ces informations est disponible sur le site Internet de l'UBA ^t c : http://www.ubatc.be .			

Avant d'amener l'eau, il y a lieu d'obturer ou de surélever les écoulements. L'eau utilisée sera de préférence additionnée d'un peu d'ammoniaque (1/1000). Il convient de s'assurer que l'eau n'atteint pas un niveau plus élevé que prévu, par exemple par temps de pluie (débordement, contrôle), en tenant compte de la hauteur des relevés et de la capacité portante du plancher. A l'issue de l'essai, on laissera l'eau s'évacuer lentement, afin que les écoulements ne soient pas saturés.

La toiture est mise sous eau pendant 48 à 72 heures, voire davantage. L'absence de suintement d'eau (ammoniaquée) prouve que l'étanchéité a été réalisée correctement.

La réalisation de cet essai par des tiers mène souvent à des difficultés dues à un niveau d'eau trop élevé et à un débordement aux points les plus bas, avec les dommages parfois considérables qui en résultent.



9 COUCHE DE PROTECTION

Les couches de protection sont de type léger ou de type lourd.

Les *couches de protection 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 *couches de protection lourdes* remplissent également ces fonctions, mais elles permettent en plus de compenser les actions du vent (tant sur toiture chaude que sur toiture inversée) et autorisent éventuellement la circulation piétonne ou autre (terrasses, rampes d'accès). Dans le cas des toitures inversées, elles ont en outre pour but d'empêcher le flottement des panneaux.

Les couches de protection lourdes et certaines couches de protection légères améliorent le comportement au feu de la toiture. Les couches de protection lourdes d'une épaisseur de 60 mm minimum sont censées répondre aux exigences de l'Arrêté Royal relatif au comportement au feu des bâtiments [1] (cf. § 2.2, p. 14).

9.1 COUCHE DE PROTECTION LÉGÈRE

Une protection légère peut se présenter sous forme d'une couche de paillettes d'ardoise (pour les matériaux bitumineux), d'une couche de peinture ou encore d'une feuille métallique. On tiendra compte du fait que l'oxydation du métal fait rapidement disparaître l'effet réfléchissant.

Les étanchéités synthétiques reçoivent rarement une couche de protection légère, car la majorité d'entre elles offrent une résistance suffisante aux rayons UV et sont de teinte claire (limitation de la température superficielle). La seule protection légère que l'on applique sur certaines étanchéités synthétiques sombres est une couche de peinture réfléchissante. Afin d'éviter tout problème d'incompatibilité, on utilisera exclusivement des peintures agréées par le fabricant de l'étanchéité (ATG).

Comme signalé précédemment, une protection anti-UV s'impose en présence de bitume SBS, mais pas

dans le cas du bitume APP. Elle peut être constituée par des paillettes d'ardoise ou des granulats teints appliqués en usine. Les étanchéités bitumineuses – à l'heure actuelle uniquement les membranes en bitume SBS – peuvent également être revêtues en usine d'un film de cuivre ou d'aluminium gaufré, destiné à améliorer leur comportement au feu. Ces étanchéités doivent être posées avec une pente de 5 % minimum. Les feuilles métalliques ne sont pas considérées comme des couches d'étanchéité à l'eau supplémentaires.

9.2 COUCHE DE PROTECTION LOURDE

Constituée par du gravier, des dalles, un matériau plus ou moins monolithique

(béton, asphalte coulé) ou par de la végétation et son substrat, dans le cas des toitures vertes, la couche de protection lourde, également appelée *lestage*, présente des avantages et des inconvénients :

- ◆ avantages :
 - réduction des contraintes thermiques sur la toiture
 - amélioration du comportement au feu
 - excellente protection contre les dégradations dues aux rayons UV
- ◆ 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 en mettant la toiture temporairement sous eau avant de procéder aux finitions (§ 8.5, p. 77).

En ce qui concerne le champ d'application de la couche de protection lourde, celle-ci peut être posée sur n'importe quel support, pour autant que la stabilité de ce dernier le permette. Elle est particulièrement recommandée :

- ◆ sur un support humide (pour éviter l'apparition de boursouffures, par exemple en cas d'humidité de construction abondante ou d'exécution dans des conditions hivernales)
- ◆ sur un support incompatible (goudron (*), certains enduits, certaines matières synthétiques).

(*) Lorsqu'on travaille sur d'anciennes toitures goudronnées, il convient de prêter attention aux aspects liés à la protection de la santé.

9.2.1 GRAVIER

Le gravier peut être roulé (gravier de rivière ^(*)) ou concassé (gravier de carrière).

Lorsque le gravier présente de nombreux angles tranchants, il convient de poser sur l'étanchéité une couche de protection – voile de polyester ou treillis en polypropylène (minimum 300 g/m²) – 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/m²)).

Le gravier et la couche de désolidarisation ont pour inconvénients de ralentir l'évacuation des eaux pluviales et de constituer un foyer potentiel de micro-organismes favorisant le vieillissement de certains matériaux d'étanchéité (certains PVC, par exemple).

La pente est limitée à 5 % pour éviter que le gravier ne roule. Un lestage à base de gravier nécessite un entretien régulier afin d'empêcher que la végétation n'envahisse le toit et n'endommage l'étanchéité.

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 %.

La surface de contact des plots doit être suffisamment grande pour éviter une pression exagérée sur les matériaux d'étanchéité et d'isolation. Des informations concernant la contrainte de compression permanente autorisée sur les plots peuvent être obtenues en consultant le fabricant de l'isolation ou l'ATG. On peut se baser, dans un premier temps, sur les résultats de l'essai de l'UEAtc "pour isolation de toiture sous charge statique répartie et sous température élevée". Pour les toitures, l'isolation doit appartenir à la classe C (40 kPa) ou D (80 kPa) (§ 7.1.6, p. 38).

Un entretien régulier est nécessaire afin d'éliminer les salissures et les boues susceptibles de s'accumuler entre les dalles et l'étanchéité (par exemple, nettoyage au jet d'eau sous les dalles).

Sur une étanchéité en pente, des plots réglables permettent d'obtenir une surface de circulation horizontale favorisant un séchage rapide.

La pose des dalles à plein bain de mortier doit être réalisée conformément aux prescriptions de la NIT 196 [10]. Dans ce cas, il convient de tenir compte du fait que l'étanchéité ne sera plus accessible.

9.2.3 ASPHALTE COULÉ OU BÉTON MONOLITHIQUE

Le béton monolithique et l'asphalte coulé sont généralement utilisés sur les toitures-parkings ou les accès de secours réservés, par exemple, aux voitures de pompiers. De telles applications requièrent une étude particulière, étant donné les sollicitations très importantes qui en résultent.

9.2.4 TOITURES VERTES

Les toitures vertes font actuellement l'objet d'une étude, dont les résultats seront publiés ultérieurement. Pour de plus amples informations, nous renvoyons aux numéros [38] et [39] de la bibliographie.

9.3 RÉSISTANCE AU VENT DES TOITURES CHAUDES (***) AVEC COUCHE DE 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 une toiture posée en indépendance, son poids doit au moins être égal à la poussée de vent (§ 2.1.2.1, p. 7).

Lorsqu'on applique une couche de protection pour compenser le manque de résistance au vent d'une étanchéité collée ou soudée, le poids du lestage doit au moins être égal à la différence entre la poussée 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 (§ 9.3.2).

(*) A l'heure actuelle, le gravier de rivière contient plus de fractions tranchantes qu'autrefois.

(**) Pour les toitures inversées, cf. référence bibliographique n° 3.

Tableau 39 Masse surfacique minimum (kg/m²) des dalles posées en indépendance sur une toiture plate (en terrain plat, sans bâtiments environnants d'une hauteur double de celle du bâtiment considéré).

SITUATION		HAUTEUR DE TOITURE (m)													
		-	-	-	-	-	-	-	-	7,0	9,0	11,5	14,5	18,0	24,0
SITUATION	I Zone côtière	-	-	-	-	-	-	-	-	7,0	9,0	11,5	14,5	18,0	24,0
	II Zone rurale	-	5,0	6,0	7,5	9,5	12,0	14,0	18,0	22,0	27,0	32,0	39,0	47,0	
	III Zone urbanisée	10,0	11,0	13,0	16,0	19,0	23,0	27,0	32,0	40,0	46,0	54,0	63,0	74,0	
	IV Ville	18,0	19,5	22,0	26,0	32,0	37,0	42,0	50,0	57,0	66,0	76,0	87,0	99,0	
ZONE DE TOITURE	Coin														
	Bâtiment non élancé (*)	70	72	77	83	88	94	99	105	110	116	121	127	133	
	Bâtiment élancé (*)	56	58	62	66	71	75	80	84	88	93	97	102	106	
	Rive														
	Bâtiment non élancé (*)	56	58	62	66	71	75	80	84	88	93	97	102	106	
	Bâtiment élancé (*)	42	43	46	50	53	56	60	63	66	70	73	76	80	
	Partie courante	28	29	31	33	35	38	40	42	44	46	49	51	53	

(*) Caractère élancé, cf. figure 4, p. 8.
Remarque : en ce qui concerne le poids de la couche de lestage, cf. § 9.2.

Tableau 40 Diamètre minimum du gravier (mm) [2, 19].

SITUATION		HAUTEUR DU TOIT (m) JUSQU'À					
		-	-	-	11,5	24	
SITUATION	I Zone côtière	4	9,5	18	27	47	
	II Zone rurale	10	19	32	46	74	
	III Zone urbanisée	18	32	50	66	99	
	IV Ville						
ZONES DE TOITURE	Coin	Bâtiment non élancé	40	48	56	64	72
		Bâtiment élancé	36	45	53	59	67
	Rive	Bâtiment non élancé	16	18	20	25	30
		Bâtiment élancé	16	18	20	25	30
	Partie courante	Bâtiment non élancé	12	14	16	18	20
		Bâtiment élancé	16	18	20	25	30

9.3.2 RÉSISTANCE AU VENT DE LA COUCHE DE PROTECTION

La couche de protection proprement dite doit être résistante au vent.

Les éléments indépendants, tels que les dalles ou les panneaux, doivent au moins avoir le poids repris au tableau 39.

Le diamètre minimum du gravier est indiqué au tableau 40.

On entend, par diamètre minimum, par exemple, un diamètre d'au moins 16 mm pour un gravier 16/32.

Lorsque le gravier présente un diamètre plus important, il est préférable d'opter pour un lestage sous forme de dalles.



10 RÉNOVATION

La plupart des toitures à rénover ont en majeure partie été réalisées en prévoyant une couche finale à base de bitume oxydé, de produits avec armature de feutre, ... ou en appliquant des techniques de pose aujourd'hui dépassées ou déconseillées (par exemple, toiture "froide", béton de pente sur l'isolation, ...).

Les travaux de rénovation se font le plus souvent sans l'intervention d'un architecte ou d'un entrepreneur général, ce qui amène l'entrepreneur d'étanchéité à assumer également un rôle de concepteur. Il ne peut dès lors plus se limiter à poser une nouvelle étanchéité, mais est également tenu d'indiquer à son client, de préférence dans l'offre écrite, les manquements aux législations les plus récentes et à l'état actuel de la technique, ainsi que les conséquences de ces manquements. Il se doit donc de proposer des améliorations possibles.

Dans les cas où un avis est sollicité en raison de problèmes, il faut tout d'abord en déterminer la cause et ensuite y remédier. Il peut être nécessaire, à cet effet, de prélever un échantillon. Ce n'est qu'après ces opérations que la rénovation pourra être entamée.

Pendant l'étude précédant la rénovation, il convient de contrôler les différents paramètres de la toiture à rénover qui nécessiteront localement l'ouverture du complexe toiture, à savoir :

- ◆ la composition de toiture :
 - le concept de toiture : toiture froide (à transformer en toiture chaude), composition de toiture tenant compte des directives de la présente NIT, etc.
 - la classe de résistance au feu (voir § 2.2, p. 14)
 - la résistance aux actions du vent (§ 2.1.2, p. 6)
- ◆ le plancher de toiture : vérifier s'il peut éventuellement supporter un poids supplémentaire
- ◆ la pente
- ◆ le pare-vapeur et l'isolation :
 - 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 et son type
 - contrôler la présence éventuelle d'une isolation, son type et son état
 - déterminer la valeur d'isolation selon les décrets régionaux en vigueur.

Remarque : lorsqu'on se propose de rénover une toiture plate, il est utile d'envisager le placement d'une isolation (complémentaire) (cf. chapitres 3 et 7). L'étanchéité existante reçoit, ce faisant, une fonction de pare-vapeur, éventuellement par application d'une couche de bitume. L'isolation et l'étanchéité seront dès lors disposées selon la procédure décrite dans la présente NIT. Cette remarque s'applique tout particulièrement lorsque l'étanchéité existante présente des boursofflures et un retrait importants ou lorsque la nouvelle étanchéité est incompatible avec l'étanchéité existante. Cette solution peut s'avérer moins coûteuse que le démontage et empêche les infiltrations d'eau pendant les travaux

- ◆ l'étanchéité :
 - contrôler la présence éventuelle d'eau dans le complexe toiture et en déterminer la cause (infiltrations, condensation interne)
 - déterminer la valeur résiduelle de l'ancienne étanchéité à l'eau et la possibilité de conserver cette dernière
 - on vise ici le remplacement d'une étanchéité existante ne présentant pas de problèmes majeurs, mais qui est supposée être proche de la fin de sa durée de vie "normale". La durée de vie normale ne peut être déterminée *a priori*, car elle dépend des contraintes thermiques et mécaniques subies par la toiture ainsi que des matériaux d'étanchéité utilisés. Dans le cas d'une étanchéité existante à base de bitume oxydé, cette durée de vie est le plus souvent limitée. Dans cette situation, 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 suit :
 - poser le lestage éventuel (en veillant à éviter les surcharges)
 - au besoin, adapter tous les détails de toiture (joints de dilatation, solins de raccordement aux coupes, tuyaux, gaines, relevés, etc.) conformément aux prescriptions de la NIT 191 [9]
 - nettoyer l'étanchéité existante et brosser soigneusement les paillettes d'ardoise détachées ou les impuretés. Gratter les impuretés incrustées ou démonter l'étanchéité. Dans les deux cas, les inégalités seront aplanies au bitume (§ 4.2, p. 21), à l'aide d'une

couche de compensation (par exemple, couche de laine minérale de 40 mm) ou de mortier isolant

- percer les boursoflures éventuelles, les sécher et les refermer par collage ou par soudage; la présence d'un cloquage généralisé révèle l'existence de problèmes
- prévoir un lestage au cas où l'étanchéité d'origine aurait été posée en indépendance
- terminer la finition de la toiture par la pose de nouveaux solins et (éventuellement) de profilés de rive

- ◆ la couche de protection
- ◆ les détails de toiture : les détails de jonction des écoulements d'eau et les autres ouvrages de raccord doivent être conformes aux prescriptions de la Note d'information technique n° 191.

10.1 ÉTANCHÉITÉ BITUMINEUSE

Il est possible de poser une nouvelle étanchéité bitumineuse sur un revêtement bitu-

mineux existant en procédant comme suit :

- ◆ appliquer un vernis d'adhérence bitumineux ou décaper la surface à la flamme pour obtenir une bonne adhérence sur la couche bitumineuse existante et pour bien sécher la surface
- ◆ poser un lé en bitume polymère armé de polyester, par soudage ou en le déroulant dans une couche de colle à froid et en réalisant des joints soudés ou collés.

Si l'étanchéité existante est sous-facée avec un feutre, cette couche peut renfermer de l'humidité. Dans l'hypothèse où la nouvelle couche finale est posée en adhérence totale, cette humidité se retrouvera enfermée, ce qui pourra provoquer un nouveau phénomène de cloquage. La pose d'une couche d'isolation complémentaire ou une exécution en semi-indépendance permettra de prévenir ces désordres. Dans les cas difficiles, la seule solution consistera à démonter l'étanchéité.

10.2 ÉTANCHÉITÉ SYNTHÉTIQUE

Il est possible de poser une nouvelle étan-

chéité synthétique sur un revêtement synthétique existant, pour autant que la stabilité thermique de ce dernier soit assurée (à contrôler dans le cas des membranes non armées).

On posera cette étanchéité, de préférence, en indépendance ou par fixation mécanique. Afin de permettre le collage sur d'anciens lés bitumineux, il peut s'avérer nécessaire d'utiliser des lés sous-facés si l'étanchéité existante est dans un état acceptable. Si elle renferme de l'humidité, la pose ne peut s'opérer qu'en semi-indépendance. Dans les cas difficiles, la seule solution efficace consiste à démonter l'étanchéité existante.



11 ENTRETIEN/ACCESSIBILITE

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. Il comprend :

- ◆ après l'hiver :
 - une inspection générale et la réparation éventuelle de l'étanchéité (plis, affaissement, vieillissement, décollement, ...)
 - le contrôle des avaloirs, des tuyaux de descente, des gargouilles, de l'éventuelle couche de protection, des solins, des profilés, des joints, etc.
 - la mise en œuvre éventuelle d'une protection supplémentaire aux endroits à circulation intense
 - pour les toitures lestées (toiture chaude et toiture inversée), la correction, si nécessaire, du lestage

- ◆ après la chute des feuilles :
 - l'élimination des feuilles mortes
 - l'enlèvement des mousses, des végétations, des objets étrangers, etc.
 - pour les toitures lestées, la correction, si nécessaire, du lestage.

Le maître d'ouvrage veillera tout particulièrement à l'accessibilité des toitures et prendra les mesures voulues pour éviter tout endommagement de ces dernières. Il devra dès lors prévoir des chemins de circulation en cas d'accès fréquent à des fins d'entretien (p. ex. des installations) ainsi qu'à l'endroit où l'on accède à la toiture (§ 9.2, p. 79).

En ce qui concerne l'accessibilité de l'isolation (et de l'étanchéité), on se référera au § 7.1.6 (p. 38).

ANNEXE 1

EXIGENCES DE QUALITÉ POUR LES ÉTANCHÉITÉS DE TOITURE À BASE DE BITUME POLYMÈRE

1. INTRODUCTION

La présente annexe décrit les qualités minimales que doivent présenter les membranes à base de bitume polymère (APP, SBS, PBE). Elle tient compte de l'évolution des spécifications pour la fabrication des membranes et de l'expérience acquise.

2. DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES DES MEMBRANES À BASE DE BITUME POLYMÈRE - EXÉCUTION MONOCOUCHE

Outre les directives générales de l'UEAtc, les critères spécifiques suivants de l'UBAtc sont d'application :

- ◆ épaisseur nominale minimale : 4 mm (tolérance : $\pm 0,2$) (*)
- ◆ retrait libre : $\leq 0,3$ %
- ◆ résistance au poinçonnement statique : L4 (éventuellement L3) (**)
- ◆ résistance du joint de recouvrement au pelage :
 - APP, PBE :
 - neuf : ≥ 40 N/50 mm
 - après un vieillissement de 28 jours à 80 °C : ≥ 25 N/50 mm, perte ≤ 50 %
 - APP, PBE (fixation mécanique dans le recouvrement) :
 - neuf : ≥ 40 N/50 mm

- après un vieillissement de 28 jours à 80 °C : ≥ 40 N/50 mm, perte ≤ 50 %
- SBS :
 - neuf : ≥ 50 N/50 mm
 - après un vieillissement de 28 jours à 80 °C : ≥ 75 N/50 mm
- SBS (fixation mécanique dans le recouvrement) :
 - neuf : ≥ 50 N/50 mm
 - après un vieillissement de 28 jours à 80 °C : ≥ 75 N/50 mm.

3. APPLICATIONS POSSIBLES DES MEMBRANES À BASE DE BITUME POLYMÈRE - EXÉCUTION MULTICOUCHE

En ce qui concerne les critères, nous renvoyons aux directives de l'UEAtc.

EPAISSEUR (A - SOUS-COUCHE; B - COUCHE SUPÉRIEURE) :

- ◆ A + B : - ≥ 5 mm dans le cas d'une fixation collée
 - ≥ 6 mm dans le cas d'une fixation soudée
- ◆ épaisseur nominale minimale de A :
 - 2 mm dans le cas d'une pose collée
 - 3 mm dans le cas d'une fixation soudée
- ◆ épaisseur nominale minimale de B : 3 mm.

(*) Pour les rouleaux non protégés (sable/ talc), le mesurage se fait en 10 points différents, régulièrement répartis sur la largeur du rouleau. Pour les rouleaux recouverts de paillettes, le mesurage (réparti sur la largeur du rouleau) se fait au milieu de la lisière et sur la couche de finition.

La quantité minimale de bitume est ≥ 2800 g/m² (pour une épaisseur de 3,8 mm).

(**) - L3 : non perforé en cas de sollicitation de 15 kg (150 N), perforé en cas de sollicitation de 25 kg (250 N).

- L4 : non perforé en cas de sollicitation de 25 kg (250 N).

La classe L4 (résistance de 250 N) est exigée sous des protections lourdes et pour les zones les plus utilisées de la toiture. Une résistance minimale de 200 N est requise lorsque l'étanchéité est apparente et uniquement accessible pour l'entretien.

4. CAS SPÉCIAUX

◆ *Toitures vertes*

A l'heure actuelle, seule une application multicouche est prévue pour les toitures vertes. Il convient d'effectuer les essais complémentaires suivants :

- résistance aux racines : à l'état neuf et après un vieillissement de 28 jours dans de l'eau à 60 °C
- flexibilité à basses températures : à l'état neuf et après un vieillissement de 28 jours à 80 °C.

◆ *Résistance au feu*

Les membranes possédant des caractéristiques de résistance au feu doivent faire l'objet d'essais complémentaires (voir procédure de l'UBAtc et circulaire du 09.08.1996 aux détenteurs d'un ATG). Les membranes pourvues d'un sous-façage métallique (offrant une protection au feu) (*) doivent être soumises à un essai de pelage et à un essai de comportement au feu A1.

◆ *Utilisation de colles à froid*

Nous renvoyons aux directives de l'UBAtc pour l'agrément technique 'Colles bitumineuses à froid - étanchéités de toiture' du 04.06.1998 et 'Colles synthétiques à froid - étanchéités de toiture' du 06.05.1999.

(*) Ces membranes ne sont pas considérées comme des revêtements d'étanchéité.

ANNEXE 2

ACTION DU VENT SUR LES TOITURES PLATES

1. ACTION DU VENT

La présente annexe, basée sur la norme belge NBN B 03-002-1 [19], a pour but de fournir un complément d'informations concernant les données précises au § 2.1.2 (p. 6), et notamment celles du tableau 3. Il est à noter que la norme NBN B 03-002 sera remplacée – selon toute attente dans le courant de l'année 2002 – par l'Eurocode 1991-2-4 "Action du vent", qui servira dès lors de base au calcul de l'action du vent.

L'action du vent sur une toiture dépend :

- ◆ d'une part, de caractéristiques indépendantes du bâtiment considéré :
 - la rugosité du terrain où se trouve le bâtiment (bord de mer, zone rurale, ville, ..., cf. § 1.1 ci-après)
 - dans certains cas, la proximité d'un bâtiment haut ou d'un terrain en pente qui exerce une influence défavorable (§ 1.6, p. 91)
- ◆ d'autre part, des caractéristiques propres au bâtiment :
 - la hauteur de la toiture (§ 1.2)
 - la zone de toiture considérée (coin, rive, partie courante) (§ 2, p. 94)
 - la perméabilité à l'air de la façade et l'éventuel cloisonnement intérieur du bâtiment (§ 1.5, p. 89)
 - la perméabilité à l'air de l'élément porteur de la toiture et le compartimentage éventuel du complexe toiture (§ 1.5).

1.1 CLASSES DE TERRAIN

L'action du vent dépend de la localisation du bâtiment. A proximité de la mer ou dans une zone rurale dégagée, le vent rencontre peu d'obstacles (terrain peu rugueux); sa vitesse subit donc peu de fluctuations. En revanche, en ville ou en terrain fort accidenté, le vent rencontre beaucoup d'obstacles (terrain fort rugueux), ce qui entraîne des pertes d'énergie; sa vitesse moyenne est donc moins éle-

vée qu'en terrain dégagé, mais les fluctuations autour de cette vitesse moyenne seront plus importantes à cause des obstacles rencontrés.

1.1.1 DÉFINITION DES CLASSES DE RUGOSITÉ DE TERRAIN

Pour tenir compte de la rugosité du terrain, on définit quatre classes de rugosité :

- ◆ classe I : zone côtière
- ◆ classe II : zone rurale, avec prédominance de zones non bâties et non boisées
- ◆ classe III : zone urbanisée, industrielle ou forestière
- ◆ classe IV : villes (zones comprenant des bâtiments d'au moins 10 m de haut sur au moins 1/4 de la surface).

La classe de terrain doit être indiquée dans le cahier des charges.

1.1.2 DÉTERMINATION DE LA CLASSE DE TERRAIN

Pour déterminer la classe de terrain dans laquelle se trouve un bâtiment, on considère une zone de 1 km de rayon autour de ce bâtiment. Dans ce secteur, la zone la plus sévère rencontrée est la zone de l'ensemble du secteur.

Cette règle connaît cependant une exception : tous les bâtiments situés à moins de 2 km du bord de mer sont considérés comme appartenant à la classe I.

1.2 HAUTEUR DE LA TOITURE - NIVEAU DE RÉFÉRENCE

La hauteur de la toiture est un critère important pour le calcul de l'action du vent sur cet élément du bâtiment. Le présent paragraphe fixe le niveau de référence ($z = 0$), c'est-à-dire le niveau à partir

Fig. A1 Niveau de référence en zone I.

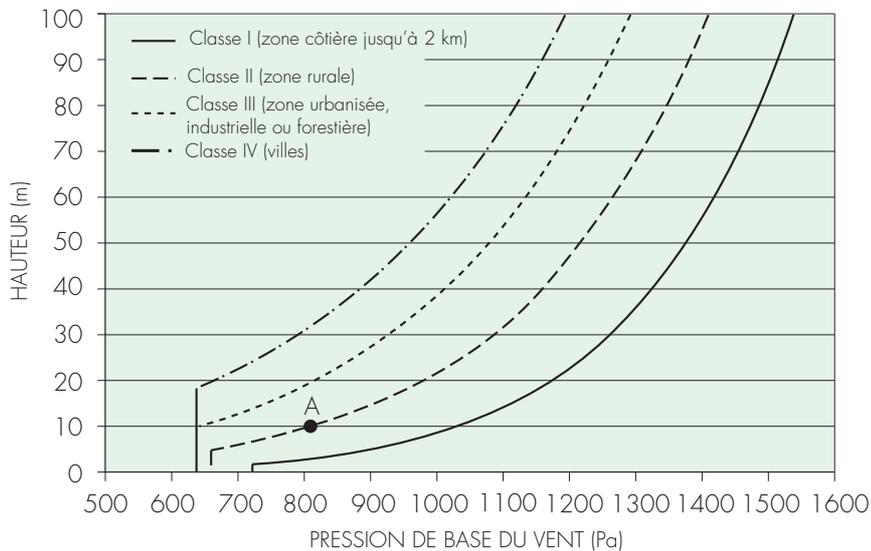
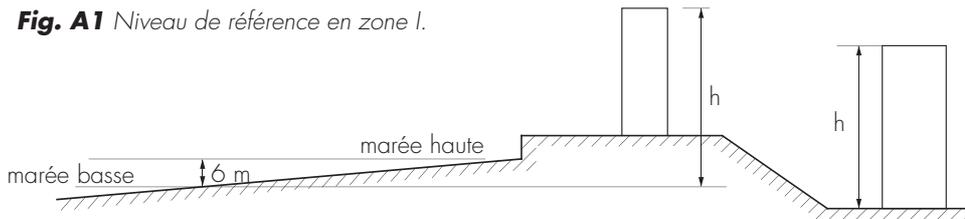


Fig. A2 Pression de base du vent (période de retour = 10 ans) (pour A, voir § 1.4.1).

duquel on mesure la hauteur de la toiture étudiée. Il se définit comme étant la plus grande distance entre le sol et le toit (hauteur de parapet comprise), sauf dans le cas de la zone I, en bord de mer, où l'on doit considérer la différence de hauteur entre le toit et le niveau de la marée basse (*) (figure A1).

1.3 VENT

Le vent se définit par sa vitesse et sa direction.

La norme NBN B 03-002 entend par "vent de référence" la vitesse moyenne du vent enregistrée pendant 10 minutes, pour une période de retour de 10 ans (**), à la hauteur $z = 10$ m au-dessus d'un terrain de classe de rugosité II, soit $v_{ref} = 23,35$ m/s (≈ 84 km/h). La valeur de pointe correspondante est de 36,4 m/s (≈ 131 km/h).

1.4 PRESSION DYNAMIQUE DE BASE DU VENT q_b

1.4.1 DÉFINITION

A chaque vitesse 'v' du vent correspond une pression dynamique de base q_b qui équivaut à l'énergie

cinétique d'un mètre cube d'air en mouvement :

$$q_b = 0,5 \rho v^2$$

où q_b = pression dynamique de base du vent (Pa)
 $\rho = 1,226$ kg/m³, masse volumique de l'air (à 15 °C et à la pression atmosphérique normale)
 v = vitesse du vent, exprimée en m/s.

En pratique, on doit tenir compte des phénomènes de turbulences qui diffèrent d'une classe de terrain à l'autre et ce, par l'application d'un terme logarithmique dans l'expression de la vitesse (pour plus de détails, voir NBN B 03-002-1).

Les valeurs de la pression dynamique de base du vent en fonction des classes de terrain et de la hauteur sont données à la figure A2 pour une période de retour de 10 ans. En zone II et à 10 m de hauteur, on trouve $q = 0,5 \cdot 1,226 \cdot (36,4)^2 = 812$ Pa (point A à la figure A2).

1.4.2 PRESSIONS DE CALCUL

Les constructions devant résister aux valeurs extrêmes de pression dynamique de base du vent susceptibles de se produire au cours de leur durée de vie, on calculera la stabilité des toitures sur la base d'une période de retour de 65 ans, ce qui se traduit par un

(*) La différence de niveau entre la marée basse et la marée haute est d'environ 6 m.

(**) La période de retour est l'intervalle de temps moyen, observé statistiquement, entre l'obtention de deux mêmes valeurs. Une période de retour de 10 ans correspond donc à une probabilité de 0,1.

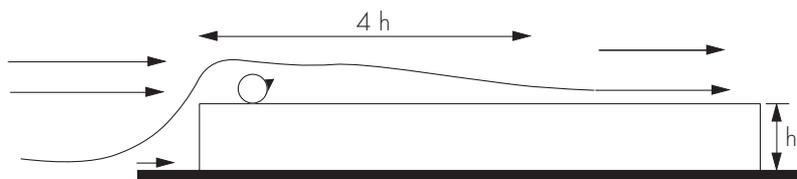


Fig. A3 Tourbillons cylindriques créés sur une toiture plate par un vent perpendiculaire à une façade.

facteur multiplicatif de 1,3 à appliquer aux valeurs de pression valables pour une période de 10 ans.

1.5 ACTION DU VENT ET COEFFICIENTS DE PRESSION

1.5.1 ACTION DU VENT SUR LA FACE EXTÉRIEURE DE LA TOITURE

Lorsque le vent rencontre un obstacle, la pression exercée sur celui-ci est en général supérieure à la pression dynamique de base q_b vu les turbulences qui se créent. Selon les endroits, la pression exercée peut être une surpression (+) ou une dépression (-).

Sur les toitures plates, il s'agit d'une dépression causée par des tourbillons locaux prenant naissance pour certaines directions de vent.

En effet, à l'approche du bâtiment, les lignes d'écoulement du vent situées à proximité du sol se relèvent à cause de la présence de l'obstacle; les lignes de courant supérieures rabattent alors les lignes relevées vers la toiture. Des tourbillons locaux se créent ainsi au bord de la toiture et produisent des dépressions supérieures, en valeur absolue, à la pression dynamique de base en écoulement libre.

Dans le cas de bâtiments prismatiques, lorsque le vent est perpendiculaire à une façade, un tourbillon cylindrique se forme le long du bord de la toiture (figure A3). Si le vent souffle en oblique par rapport à la façade, deux tourbillons coniques se forment à partir du coin le long de deux bords de toiture (figure A4). C'est dans ce dernier cas (tourbillons coniques) que naissent les valeurs de dépression les plus élevées à supporter par la toiture.

Le rapport entre la pression de vent réellement exercée sur la face extérieure de la toiture w_e et la pression dynamique de base du vent q_b est appelée *coefficient de pression extérieure locale* :

$$c_{pe1} = w_e / q_b$$

En pratique, on calcule donc l'action du vent sur la face extérieure de la toiture, en tenant compte d'une période de retour de 65 ans et d'un coefficient de sécurité de 1,3 :

$$w_e = 1,3 \cdot c_{pe1} \cdot q_b$$

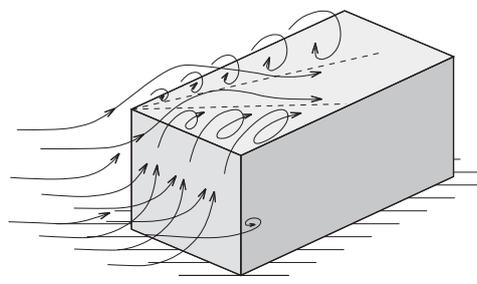


Fig. A4 Tourbillons coniques créés sur une toiture plate par un vent incident à 45° par rapport à une façade.

1.5.2 VALEURS DU COEFFICIENT DE PRESSION EXTÉRIEURE LOCALE

Les valeurs du coefficient de pression extérieure locale c_{pe1} sont données au tableau A1 en fonction des dimensions d_1 et d_2 , de la hauteur "h" du bâtiment et de la hauteur h_p des parapets éventuels (voir figure A5).

La valeur de ce coefficient dépend de la surface d'action du vent. Pour un élément déterminé, la surface d'action est définie comme étant la surface sur laquelle l'existence d'une pression de vent implique une sollicitation de l'élément considéré.

Dans le cas des toitures plates, la surface d'action est inférieure ou égale à 1 m², car les membranes ne sont pas soumises à des effets d'ensemble du vent, vu leur flexibilité.

1.5.3 ACTION DU VENT SUR LA FACE INTÉRIEURE DE LA TOITURE

Lorsque les façades ou les toitures du bâtiment présentent des ouvertures et/ou sont perméables à l'air, le vent peut pénétrer dans le bâtiment. Si ces ouvertures n'existent que dans une seule paroi, des surpressions ou des dépressions importantes prendront naissance à l'intérieur de celui-ci. Si les ouvertures sont uniformément réparties dans les parois, les phénomènes s'équilibreront et la surpression ou la dépression sera moindre. Si le bâtiment dispose de plus d'un cloisonnement intérieur, ces différences seront également mieux réparties et moins importantes.

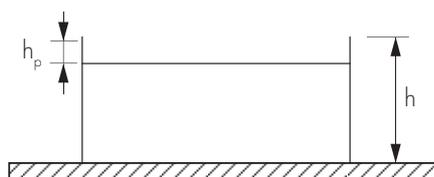
Le rapport entre la pression de vent réellement exercée sur la face intérieure de la toiture w_i et la pression dynamique de base du vent q_b est appelé *coef-*

HAUTEUR DU BÂTIMENT (**)	HAUTEUR DE LA RIVE DE TOITURE	VALEUR DE c_{pel}		
		COIN c	RIVE r	ZONE CENTRALE †
non élancé, c.-à-d. $\frac{h}{d_2} \leq 1$	$\frac{h_p}{h} \leq 0,1 (*)$	- 2,5	- 2	- 1
	$\frac{h_p}{h} \geq 0,2$	- 1	- 1	- 1
élancé, c.-à-d. $\frac{h}{d_2} \geq 2$	$\frac{h_p}{d_1} \leq 0,01 (*)$	- 2	- 1,5	- 1
	$\frac{h_p}{d_1} \geq 0,05$	- 1	- 1	- 1

(*) Cas courants.
(**) Pour les valeurs intermédiaires de hauteur de bâtiment ou de parapet, il faut réaliser une interpolation linéaire.

Tableau A1 Coefficients de pression extérieure (c_{pel}) pour des surfaces d'action $\leq 1 \text{ m}^2$ et pour des pentes $\leq 10^\circ$ (18 %) (pour les pentes $> 10^\circ$, cf. la norme NBN B 03-002-1).

Fig. A5 Hauteur de parapet.



coefficient de pression intérieure :

$$c_{pi} = w_i / q_b$$

En pratique, on calcule donc l'action du vent sur la face intérieure de la toiture au moyen de la formule suivante en tenant compte d'une période de retour de 65 ans :

$$w_i = 1,3 \cdot c_{pi} \cdot q_b$$

1.5.4 VALEURS DU COEFFICIENT DE PRESSION INTÉRIEURE

On a :

- ◆ $c_{pi} = 0,8$ dans le cas de bâtiments sans cloisons intérieures présentant ou susceptibles de présenter des ouvertures dans une seule paroi verticale
- ◆ $c_{pi} = 0,3$ dans le cas de bâtiments sans cloisons intérieures présentant ou susceptibles de présenter des ouvertures uniformément réparties
- ◆ $c_{pi} = 0,3$ dans le cas de bâtiments avec cloisons intérieures.

1.5.5 ACTION TOTALE DU VENT "w" SUR LA TOITURE

1.5.5.1 SUPPORT PERMÉABLE À L'AIR

Si le support de toiture est perméable à l'air, la dépression éventuelle régnant dans le bâtiment se transmettra au complexe de toiture et s'additionnera à la dépression existant du côté extérieur de la toiture. L'action totale du vent sur la toiture est donc égale à la (dé)pression régnant du côté extérieur de la toiture augmentée de la (dé)pression régnant du côté intérieur de la toiture :

$$w = 1,3 c_{pel} \cdot q_b - 1,3 c_{pi} \cdot q_b = 1,3 c_p \cdot q_b$$

où c_p est le coefficient de pression égal à la différence entre le coefficient de pression extérieure locale et le coefficient de pression intérieure :

$$c_p = c_{pel} - c_{pi}$$

1.5.5.2 SUPPORT IMPERMÉABLE À L'AIR

Si le support de toiture est imperméable à l'air, les variations à l'intérieur du bâtiment n'influenceront pas la pression du vent sur le complexe toiture et l'action totale du vent sur la toiture sera égale à la différence entre la pression du côté extérieur de la toiture et la pression dans la couche d'air située entre le support imperméable et la membrane d'étanchéité :

$$w = 1,3 c_{pel} \cdot q_b - 1,3 (c_{pi})_a q_b = 1,3 c_p \cdot q_b$$

où $c_p = c_{pel} - (c_{pi})_a$.

1.5.6 VALEURS DU COEFFICIENT DE PRESSION c_p POUR LES TOITURES PLATES

1.5.6.1 TOITURES CHAUDES

Cinq cas sont à distinguer selon la perméabilité du support et des façades.

A. SUPPORT PERMÉABLE À L'AIR

- 1 Bâtiments dont certaines façades sont perméables à l'air et d'autres non perméables à l'air :

$$c_{pi} = +0,8 \rightarrow c_p = c_{pel} - 0,8.$$

VALEURS DE c_p	c	r	t
Bâtiments non élancés	- 3,3	- 2,8	- 1,8
Bâtiments élancés	- 2,8	- 2,3	- 1,8

- 2 Bâtiments de perméabilité à l'air uniforme :

$$c_{pi} = +0,3 \rightarrow c_p = c_{pel} - 0,3.$$

VALEURS DE c_p	c	r	t
Bâtiments non élancés	- 2,8	- 2,3	- 1,3
Bâtiments élancés	- 2,3	- 1,8	- 1,3

B. SUPPORT IMPERMÉABLE À L'AIR

- 3 Support imperméable à l'air sans compartimentage entre les zones c, r et t : la dépression sous l'étanchéité correspond, pour l'ensemble de la toiture, au coefficient de pression extérieure pour une surface de 10 m² ou plus, à savoir - 0,5 :

$$(c_{pi})_a = -0,5 \rightarrow c_p = c_{pel} + 0,5.$$

VALEURS DE c_p	c	r	t
Bâtiments non élancés	- 2,0	- 1,5	- 0,5
Bâtiments élancés	- 1,5	- 1,0	- 0,5

- 4 Support imperméable à l'air avec compartimentage entre les zones c, r et t : pour chacune des zones, la pression effective s'exerçant sur la toiture est égale à la différence entre la pression extérieure (pour 1 m²) et la pression moyenne s'exerçant sous l'étanchéité pour la zone considérée, soit le coefficient de pression extérieure locale pour des surfaces de 10 m² ou plus :

$$(c_{pi})_a = c_{pe} \cdot (10 \text{ m}^2) \\ \rightarrow c_p = c_{pel} (1 \text{ m}^2) - c_{pe} (10 \text{ m}^2).$$

VALEURS DE c_p	c	r	t
Bâtiments non élancés	- 1,3	- 0,8	- 0,5
Bâtiments élancés	- 1,0	- 0,5	- 0,5

- 5 Support imperméable à l'air - aucun mouvement d'air possible : en théorie, en pareil cas, l'action du vent est nulle selon la norme; par sécurité, on considère cependant le tiers de l'action extérieure du vent :

$$(c_{pi})_a = 2/3 c_{pel} \rightarrow c_p = c_{pel} - 2/3 c_{pel} = 1/3 c_{pel}.$$

VALEURS DE c_p	c	r	t
Bâtiments non élancés	- 0,83	- 0,67	- 0,33
Bâtiments élancés	- 0,67	- 0,50	- 0,33

Le tableau 3 (p. 9) donne les valeurs de la pression "w" ($w = 1,3 c_p \cdot q_b$) en fonction de la hauteur et de la classe de terrain pour les cinq cas détaillés ci-dessus.

Ces valeurs sont valables pour des toitures présentant une pente de moins de 10°. Si la pente est supérieure à 10°, il faut toujours considérer les valeurs de pression correspondant aux bâtiments élancés (même si le bâtiment n'est pas élancé en réalité).

1.5.6.2 TOITURES INVERSÉES

Les toitures inversées ont fait l'objet d'un article paru dans CSTC-Magazine (Hiver 1995) [3]; nous ne traiterons donc pas du sujet ici.

1.6 AUTRES PARAMÈTRES INFLUENÇANT LA VITESSE DU VENT

1.6.1 INFLUENCE DE LA PROXIMITÉ D'UN BÂTIMENT HAUT

Une construction élevée modifie l'écoulement de l'air et provoque localement un accroissement de sa vitesse et, donc, de sa pression. Ce phénomène a une influence pour les bâtiments proches d'une construction élevée dont la hauteur dépasse 1,5 fois la hauteur moyenne des bâtiments environnants. On en tient compte en calculant la pression de référence à une hauteur "z" supérieure à la hauteur "h" utilisée habituellement; cette hauteur "z" est définie ci-après.

Considérons les données suivantes :

- ◆ H : la hauteur de la construction la plus élevée
- ◆ d_1 et d_2 : les dimensions en plan du bâtiment élevé, où $d_2 \geq d_1$
- ◆ h : la hauteur du petit bâtiment le moins élevé
- ◆ x : la distance entre la construction élevée et le petit bâtiment
- ◆ R : le rayon des arcs de cercle d'influence des turbulences créées par le bâtiment élevé; ces arcs de cercle sont tracés à partir des coins du bâtiment élevé. La zone d'influence correspond donc à 4 quarts de cercle tracés à partir des coins du bâtiment et reliés entre eux par 4 arcs rectilignes parallèles aux façades.

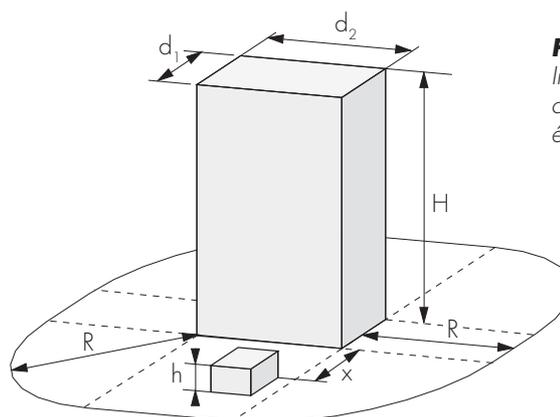


Fig. A6
Influence d'une construction élevée.

Le rayon d'influence "R" est défini comme suit :

- ◆ $R = H$ si $H \leq 2 \cdot d_2$
- ◆ $R = 2 \cdot d_2$ si $H > 2 \cdot d_2$.

La valeur "z" à utiliser pour calculer la pression dynamique de base du vent est définie comme suit :

- ◆ si $h > \frac{H}{2} \rightarrow z = h$
- ◆ si $h < \frac{H}{2}$ et
 - si $2R \leq x \rightarrow z = h$
 - si $R < x < 2R$
$$\rightarrow \frac{1}{2} \left[R - \left(1 - \frac{2h}{R} \right) (x - R) \right]$$
 - si $x \leq R \rightarrow z = \frac{R}{2}$.

EXEMPLE

Calculons la toiture d'un bâtiment de hauteur $h = 5$ m situé à $x = 40$ m d'un bâtiment de hauteur $H = 30$ m et de dimensions en plan 20 m x 50 m : $d_2 = 50$ m; $x = 40$ m.

Vu que $H \leq 2d_2$, on a $R = H = 30$ m. On est donc dans le cas $R < x < 2R$ et le niveau "z" auquel on doit calculer la pression dynamique de base du vent vaut :

$$z = 0,5 \left[30 - \left(1 - \frac{2 \cdot 5}{30} \right) (40 - 30) \right]$$

$$= 11,6 \text{ m au lieu de } 5 \text{ m.}$$

1.6.2 INFLUENCE D'UN TERRAIN EN PENTE - FACTEUR DE SITE k_s^2

1.6.2.1 EFFETS DU RELIEF SUR LE VENT

Au voisinage de la crête d'une colline ou d'un versant de plateau, la vitesse du vent subit une accélération. Au fond d'une vallée ou au pied d'un versant escarpé, elle peut subir une décélération et, dans le cas de fortes pentes, une inversion de sens peut se produire (figure A7).

1.6.2.2 DÉFINITION ET VALEURS

Dans le cas de collines ou de versants dont la pente est supérieure à 5 %, on doit tenir compte de l'augmentation de la vitesse du vent en multipliant la valeur de la pression du vent "w" par un facteur de site k_s^2 .

On aura alors : $w = 1,3 k_s^2 \cdot c_p \cdot q_b$.

Le facteur de site k_s^2 est défini par :

$$k_s^2 = 1 \quad \text{si } \frac{H}{L} < 0,05$$

$$k_s^2 = \left[1 + 1,2 \frac{H}{L} s \right]^2 \quad \text{si } 0,05 < \frac{H}{L} < 0,3$$

$$k_s^2 = (1 + 0,36 \cdot s)^2 \quad \text{si } \frac{H}{L} > 0,3$$

où :

s = un facteur obtenu en fonction des rapports X/L_e et Z/L_e aux figures A8 ou A9 selon qu'il s'agit d'un versant de plateau ou d'une colline

L_e = la longueur effective de la pente face au vent, définie au tableau A2

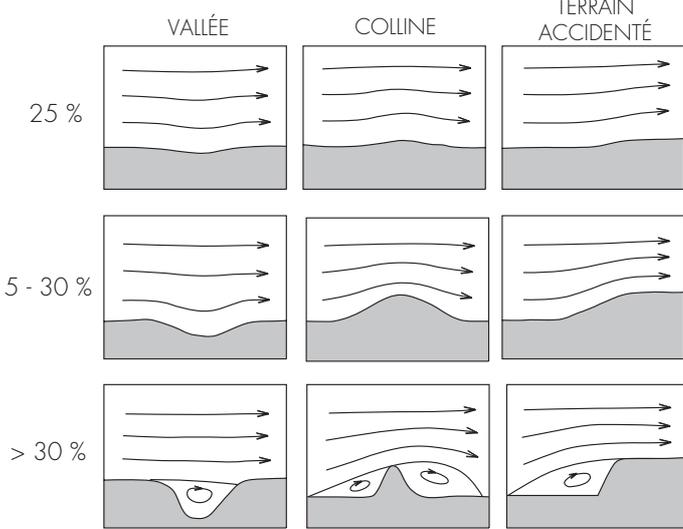
L = la longueur réelle de la pente face au vent

H = la dénivellation due à la pente

X = la distance horizontale entre le sommet et le bâtiment étudié

Z = la hauteur du bâtiment étudié calculée à partir du niveau de référence.

Fig. A7 Effets du relief sur la vitesse du vent.



Dans le cas d'une colline ou d'un versant de plateau, on établit la plus grande pente escarpée pour chaque secteur et on détermine les dimensions en conséquence. Lorsque le terrain d'amont est accidenté, on considère que le niveau bas est le niveau moyen du terrain sur une distance de 5 km en amont de la crête.

Dans les vallées, le facteur de site k_s^2 équivaut à 1 à condition qu'il n'y ait pas d'effet d'entonnoir entraînant un accroissement de la vitesse.

H/L	L_e
< 0,3	L
≥ 0,3	H/0,3

Tableau A2
Valeur L_e .

1.6.2.3 EXEMPLE

Dans l'exemple ci-après, nous montrons la manière de calculer le facteur de site k_s^2 pour un bâtiment de dimensions en plan de 15 m x 10 m et d'une hauteur de 30 m (il s'agit donc d'un bâtiment élancé), situé en zone rurale (II) sur un terrain présentant une pente de 8 % ($\approx 4,6^\circ$). Nous comparons ensuite les résultats avec d'autres valeurs de pente dans le cas d'une toiture et de façades perméables à l'air (cas 1).

◆ Situation

Le schéma du site est donné à la figure A10 (p. 94). La pente est de 8 %.

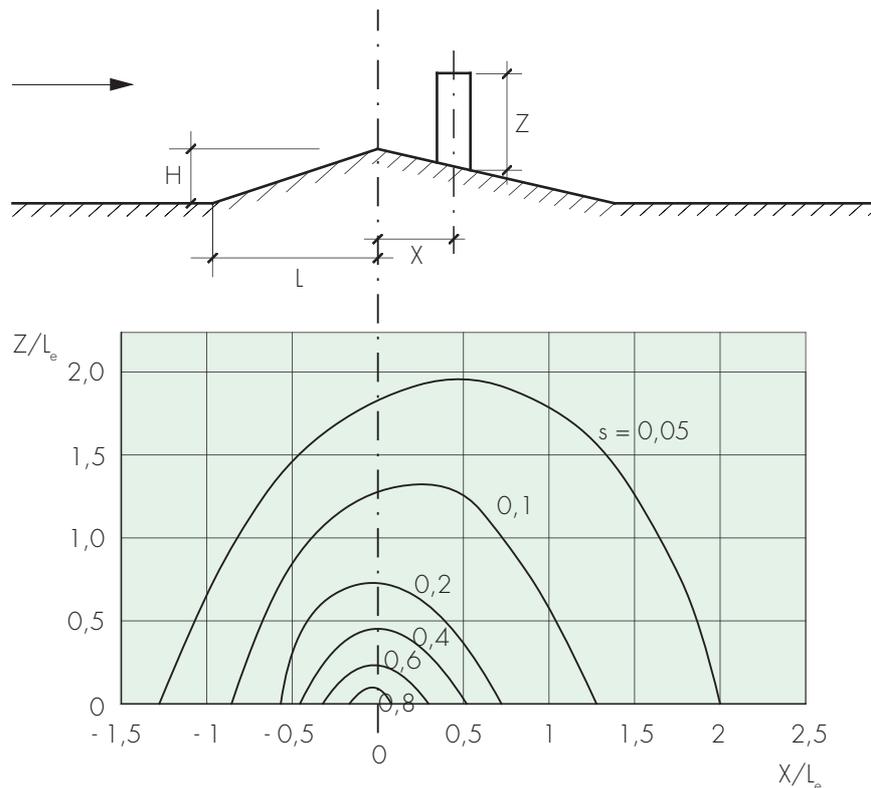
◆ Calcul du facteur de site :

$$\frac{H}{L} = \frac{8}{100} = 0,08 \rightarrow L_e = 100 \text{ m} \rightarrow \frac{X}{L_e} = 0,3$$

$$\text{et } \frac{Z}{L_e} = 0,3 \rightarrow s = 0,6$$

$$\rightarrow k_s^2 = \left[1 + 1,2 s \frac{H}{L} \right]^2 = 1,12.$$

Fig. A8 Valeurs de "s" dans le cas d'une colline.



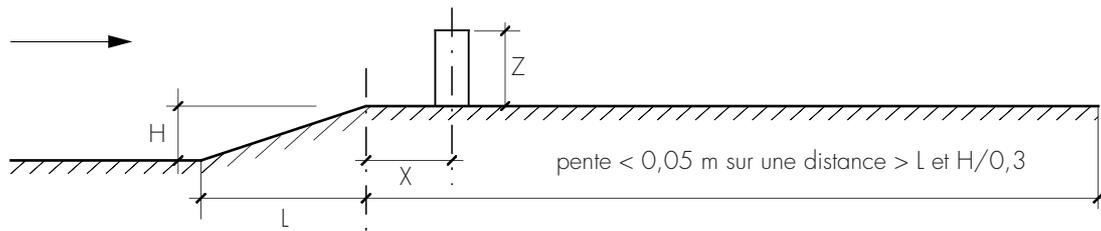


Fig. A9 Valeurs de "s" dans le cas d'un versant de plateau.

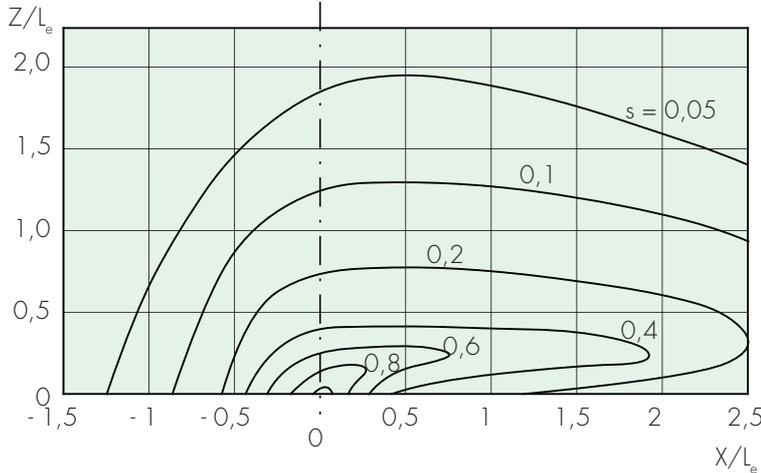
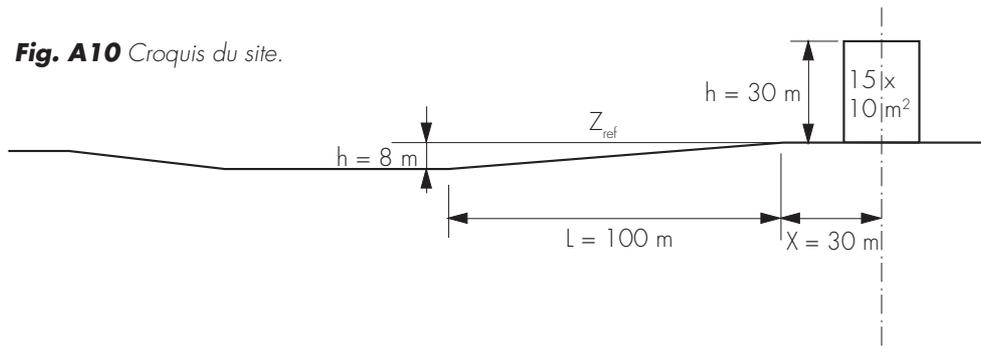


Fig. A10 Croquis du site.



Un même calcul pour des pentes de 20 et 50 % donne respectivement des valeurs de 1,31 et 1,66 pour le facteur de site k_s^2 .

- ◆ Valeur de l'action du vent "w" (Pa) (dans le cas 1 décrit au § 1.5.6.1) : elle est obtenue en multipliant les valeurs du tableau 3 (p. 9), pour le cas 1, par le facteur de site correspondant.

On constate donc que, par rapport à une déclivité nulle, les valeurs de "w" seront 12 % plus élevées avec une pente de 8 %, 31% plus élevées avec une pente de 20 % et 66 % plus élevées avec une pente de 50 % (voir tableau A3). Ce phénomène n'est donc pas négligeable.

2. LES ZONES DE TOITURE

2.1 BÂTIMENTS RECTANGULAIRES DE HAUTEUR UNIFORME

Voir § 2.1.2.2 (p. 8)

2.2 AUTRES BÂTIMENTS

Un article traitant des bâtiments non rectangulaires sera publié dans le Magazine du CSTC.

Tableau A3 Valeurs de "w" (Pa) pour des terrains appartenant à la classe de rugosité II.

SANS PENTE			PENTE 8 %			PENTE 20 %			PENTE 50 %		
c	r	t	c	r	t	c	r	t	c	r	t
- 3931	- 3229	- 2527	- 4403	- 3616	- 2830	- 5150	- 4230	- 3310	- 6525	- 5360	- 4194

ANNEXE 3

MÉTHODE DE CALCUL ET CRITÈRES D'ÉVALUATION DE LA CONDENSATION INTERNE

Pour déterminer le type d'écran pare-vapeur (chapitre 6, p. 29), il convient de prendre en considération la quantité de condensation présente, laquelle doit être limitée. Les quantités de condensation résultant de la diffusion de vapeur sont calculées selon la méthode de *Glaser*, conformément aux données reprises dans le projet de norme prEN ISO 13788 [14] ou, le cas échéant, suivant une méthode de calcul plus avancée décrite dans ce projet de norme.

On tient également compte des données climatiques de la station météorologique la plus proche, de l'orientation, de la pente et des caractéristiques d'absorption de la toiture.

Pour évaluer la quantité de condensation, on se base sur les données reprises dans le tableau A3. Il est à noter que la présence de condensation résiduelle annuelle dans une toiture n'est pas admise.

Tableau A3

Critères d'évaluation de la condensation interne.

NATURE DE LA SURFACE DE CONDENSATION	CRITÈRE (kg/m ²)
<i>Matériau capillaire non hygroscopique</i> (matériau type : la brique) : le condensat est absorbé par le matériau par capillarité. De ce fait, une zone humide critique apparaît sur une certaine épaisseur et il se crée un équilibre 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.	Résistant au gel : $m_r + m_c \leq w_{cr} \cdot d$ Non résistant au gel : $m_r + m_c \leq 0,05 w_{cr} \cdot d$
<i>Matériau hygroscopique peu capillaire</i> (matériau type : le bois) : 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.	$m_r \leq 0$ Matériau résistant à l'humidité : $m_c \leq 0,03 \rho d \leq 0,200$ Matériau non résistant à l'humidité : $m_c \leq 0,050$
<i>Matériau non hygroscopique et non capillaire</i> (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 considérables. La quantité de condensat admissible dépend de la pente.	$m_r \leq 0$ Vertical, incliné : $m_c \leq 0,200$ Horizontal, incliné : $m_c \leq 0,5$
<i>Matériau isolant avec finition extérieure pare-vapeur</i> (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 construction.	$m_r \leq 0$ $m_c \leq 0,200$
w_{cr} : taux d'humidité critique (kg/m ³) ρ = densité (kg/m ³) d = épaisseur de la couche (m)	m_r : quantité maximale de condensation résiduelle (kg/m ²) m_c : quantité maximale de condensation (kg/m ²)

LISTE DES ABRÉVIATIONS UTILISÉES

ECRANS PARE-VAPEUR

E1, E2, E3, E4 : classes de pare-vapeur (cf. tableau 13, p. 32).

ISOLATION DE TOITURE

MW (<i>mineral wool</i>)	: laine minérale	PF (<i>phenolic foam</i>)	: mousse résolique (phénolique)
MWG (<i>glass wool</i>)	: laine de verre	EPS (<i>expanded polystyrene</i>)	: polystyrène expansé
MWR (<i>rock wool</i>)	: laine de roche	XPS (<i>extruded polystyrene</i>)	: polystyrène extrudé
CG (<i>cellular glass</i>)	: verre cellulaire	ICB (<i>impregnated cork board</i>)	: liège
EPB (<i>expanded perlite board</i>)	: perlite		
PUR (<i>polyurethane</i>)	: polyuréthane		
PIR (<i>polyisocyanurate</i>)	: polyisocyanurate		

MATÉRIAUX D'ÉTANCHÉITÉ

SOUS-COUCHES OU COUCHES INTERMÉDIAIRES ET/OU PARE-VAPEUR À BASE DE BITUME (cf. également § 8.2.1, p. 50)

V 50/16	V	= voile de verre
VP 45/30	VP	= voile de verre bitumé perforé
VP 40/15		
V3	3	= 3 mm d'épaisseur
V4	4	= 4 mm d'épaisseur
P150/16	P	= voile de polyester
P3, P4		
Alu 3	Alu	= armature en aluminium
EP2		= membrane de polyester enduite sur une face, d'une épaisseur ≥ 2 mm

BITUME POLYMÈRE

APP : bitume polymère de polypropylène atactique
PBE : bitume polymère propène-butène-éthylène
SBS : bitume polymère styrène-butadiène-styrène

MATÉRIAUX D'ÉTANCHÉITÉ SYNTHÉTIQUES

IIR	: copolymère d'isoprène et d'isobutylène (butyle)
EPDM	: copolymère d'éthylène, de propylène et diène-monomère

CR	: polychloroprène (<i>chloronated rubber</i>)
CSM	: polyéthylène chlorosulfoné
NBR	: caoutchouc nitrile
PIB	: polyisobutylène
VAE (EVA)	: copolymère d'acétate de vinyle et d'éthylène
ECB	: copolymère d'acétate de vinyle et d'éthylène et bitume
CPE	: polyéthylène chloré
PVC	: chlorure de polyvinyle
PVF	: polymère de fluorure de polyvinyle
TPE	: élastomères thermoplastiques
TPV	: élastomères thermoplastiques vulcanisés
TPO	: polyoléfine thermoplastique
Po	: membrane de plastomère non revêtue
Pi	: membrane de plastomère avec armature interne
Pc	: membrane de plastomère avec ou sans armature interne
Eo	: membrane d'élastomère non revêtue
Ec	: membrane d'élastomère parementée
Eb	: membrane d'élastomère bitumée avec armature intérieure
Ei	: membrane d'élastomère avec armature interne

TECHNIQUES DE POSE

L : en indépendance
T : en adhérence totale
P : en semi-indépendance
M: fixation mécanique
V : fixation mécanique avec vis
N : fixation mécanique avec clous

B : collage au bitume chaud
S : soudage
C : collage à froid
s : couche supérieure soudée
c : couche supérieure collée à froid

BIBLIOGRAPHIE

1. ...
Annexes à l'AR du 19 décembre 1997 modifiant l'AR du 7 juillet 1994 fixant les normes de base en matière de prévention contre l'incendie et l'explosion auxquelles les bâtiments doivent satisfaire. Bruxelles, Supplément au Moniteur Belge du 30 décembre 1997.
2. Building Research Establishment
Wind scour of gravel ballast on roofs. Watford, BRE, Digest, juillet 1986.
3. Bullaert J., Meert E., Spehl P., Vitse P.
Réalisation des toitures inversées : Composition, raccords et finition. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, CSTC-Magazine, hiver 1995.
4. Busschaert L., Vitse P.
De nouvelles valeurs lambda pour les matériaux d'isolation. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, CSTC-Magazine, printemps 1996.
5. Busschaert L., Vitse P.
Systèmes d'isolation thermique : comment appliquer la valeur R_v ? Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, CSTC-Magazine, n° 2, 1997.
6. Carpentier G., De Kesel J.P., Hens H., Uyttenbroeck J., Vaes F.
Recherche concernant le comportement hygrothermique de toitures légères avec étanchéité bitumineuse. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, CSTC-Revue, n° 1, mars 1982.
7. Centre scientifique et technique de la construction
Couvertures par feuilles et bandes en matériaux cuivreux. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 184, 1992.
8. Centre scientifique et technique de la construction
Guide pratique pour l'entretien des bâtiments. Bruxelles, CSTC, Monographie, n° 13, 1991.
9. Centre scientifique et technique de la construction
La toiture plate. 2^e partie : Exécution des ouvrages de raccord. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 191, 1994.
10. Centre scientifique et technique de la construction
Les balcons. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 196, juin 1995.
11. Centre scientifique et technique de la construction
Notions élémentaires sur la transmission de chaleur. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 174, 1988.
12. Centre scientifique et technique de la construction
Utilisation du laminé de plomb pour les couvertures et les bardages. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 169, 1987.
13. Comité européen de normalisation
prEN 1187 Méthodes d'essai pour l'exposition des toitures à un feu extérieur. Bruxelles, CEN, juin 2000.
14. Comité européen de normalisation
prEN ISO 13788 Composants de bâtiments et éléments de construction - Calcul de la température de surface pour éviter l'humidité superficielle critique et calcul de la condensation dans la masse. Bruxelles, Comité européen de normalisation, juillet 1999.
15. Dubois J., Lacroix Y., Spehl P.
Les étanchéités de toitures face à l'action du vent : modalités d'essai au vent sur des systèmes d'étanchéité de toitures. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, CSTC-Magazine, n° 2, 1992.
16. Dugniolle E.
Corrosion d'accessoires métalliques situés en aval d'étanchéités bitumineuses. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, CSTC-Revue, n° 4.3, 1989.
17. Fonds de formation professionnelle de la construction - Association belge des entrepreneurs d'étanchéité
Manuel pour l'étanchéité de toitures. Bruxelles, Fonds de formation professionnelle de la Construction, 1996.
18. Institut belge de normalisation
NBN B 03-001 Principes généraux de détermination de la sécurité et de l'aptitude au service des structures. Bruxelles, IBN, 2^e édition, 1988.

19. Institut belge de normalisation
NBN B 03-002-1 Actions du vent sur les constructions - Généralités - Pression du vent sur une paroi et effets d'ensemble du vent sur une construction. Bruxelles, IBN, 2^e édition (avec 2 errata), 1988.
20. Institut belge de normalisation
NBN B 46-001 Complexe de toiture avec revêtement d'étanchéité (membranes bitumineuses ou synthétiques). Bruxelles, IBN, 1991.
21. Institut belge de normalisation
NBN B 46-002 Etanchéités de toitures - Produits à base de bitume oxydé - Sous-couches. Bruxelles, IBN, 1991.
22. Institut belge de normalisation
NBN B 46-003 Etanchéité de toiture - Produits à base de bitume polymère (APP ou SBS). Bruxelles, IBN, 1991.
23. Institut belge de normalisation
NBN B 46-201 Etanchéité de toitures - Méthodes d'essai. Bruxelles, IBN, 1991.
24. Institut belge de normalisation
NBN B 62-002 Calcul des coefficients de transmission thermique des parois des bâtiments. Bruxelles, IBN, 1987.
25. Institut belge de normalisation
NBN B 62-002/A1 Calcul des coefficients de transmission thermique des parois des bâtiments. Bruxelles, IBN, 1997.
26. Institut belge de normalisation
NBN 713-020 Protection contre l'incendie - Comportement au feu des matériaux et éléments de construction - Résistance au feu des éléments de construction. Bruxelles, IBN, 1968.
27. Institut belge de normalisation
NBN S 21-203 Protection contre l'incendie dans les bâtiments - Réaction au feu des matériaux - Bâtiments élevés et bâtiments moyens. Bruxelles, IBN, 1980.
28. Janssens A.
Inwendige condensatie : oorzaken, maatregelen, ontwerpregels. Anvers, Vocht in de Bouw, 18 novembre 1999.
29. Louwers F., Meert E., Vanderhauwaert V.
Belgian top quality roofing. Madrid, VIII^e Congrès international de l'étanchéité de l'Association internationale de l'étanchéité (AIE), 20-22 mai 1992.
30. Louwers F., Peeters M., Meert E.
La toiture plate - Systèmes à fixations mécaniques sur bacs acier. Copenhague, Proceedings of the Xth Congress of the International Waterproofing Association, 10-12 juin 1998.
31. Meert E.
Comportement des membranes synthétiques d'étanchéité en toiture. Matières plastiques et caoutchouc dans l'étanchéité des constructions du génie civil. Liège, Centre belge d'études des matières plastiques et des caoutchoucs, 6-7 juin 1984.
32. Meert E.
Membranes bitumineuses pour toitures. Caractéristiques et domaines d'application. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, CSTC-Revue, n° 3, 1987.
33. Meert E., Vitse P.
Comment concevoir une toiture plate durable. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, CSTC-Magazine, n° 1, 1996.
34. Ministère des Communications et de l'Infrastructure
STS 08.82 Matériaux pour isolation thermique. Bruxelles, Spécifications techniques unifiées, 1997.
35. Ministère des Communications et de l'Infrastructure
STS 31 Charpenterie. Bruxelles, Spécifications techniques unifiées, 1967.
36. Ministère des Communications et de l'Infrastructure
STS 32 Charpenterie pour toiture. Bruxelles, Spécifications techniques unifiées, 1967.
37. Ministère des Communications et de l'Infrastructure
STS 34.8 Revêtements d'étanchéité de toitures. Bruxelles, Spécifications techniques unifiées, 1990.
38. Roof Belgium
Toitures vertes : classification, composition et caractéristiques (1). Anvers, Roof Belgium, n° 5, juin 1999.
39. Roof Belgium
Toitures vertes : classification, composition et caractéristiques (2). Anvers, Roof Belgium, n° 6, septembre 1999.

40. Sneyers R., Meert E., Soubrier D., Van Ackere G.
Intensité de la pluie battante et pression du vent sur les façades. Calculs basés sur les mesures de la pluie et du vent à l'air libre. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, CSTC-Revue, n° 2, 1979. (retiré de la vente).
41. Union européenne pour l'agrément technique dans la construction
Directives générales UEAtc pour l'agrément des revêtements d'étanchéité de toiture. Watford, UEAtc, 1982.
42. Union européenne pour l'agrément technique dans la construction
Directives UEAtc pour l'agrément des membranes en EPDM vulcanisé non armé. Watford, UEAtc, 1988.
43. Union européenne pour l'agrément technique dans la construction
Directives UEAtc pour l'agrément des revêtements d'étanchéité en bitume élastomère SBS armés. Watford, UEAtc, 1984.
44. Union européenne pour l'agrément technique dans la construction
Directives UEAtc pour l'agrément des revêtements d'étanchéité en bitume plastomère APP armés. Watford, UEAtc, 1984.
45. Union européenne pour l'agrément technique dans la construction
Directives UEAtc pour l'agrément des systèmes d'étanchéité indépendants sous lestage en feuilles de PVC plastifié sans armature et incompatible avec le bitume. Watford, UEAtc, 1982.
46. Union européenne pour l'agrément technique dans la construction
Guide technique complémentaire UEAtc pour l'agrément des revêtements d'étanchéité de toitures fixés mécaniquement. Watford, UEAtc, 1991.
47. Union européenne pour l'agrément technique dans la construction
Guide technique particulier UEAtc pour l'agrément des revêtements d'étanchéité de toitures monocouches. Watford, UEAtc, 1991.
48. Union européenne pour l'agrément technique dans la construction
Guide technique UEAtc pour l'agrément des systèmes d'étanchéité de toitures en feuilles de PVC plastifié non compatible avec le bitume, armées et/ou sous-facées. Watford, UEAtc, 1997.
49. Union européenne pour l'agrément technique dans la construction
Guide technique UEAtc pour l'agrément des systèmes isolants support d'étanchéité des toitures plates et inclinées. Watford, UEAtc, 1993.
50. Vitse P., Henderieckx M., Meert E.
Etanchéité et isolation de toiture : colles synthétiques à froid et approche ATG. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, CSTC-Magazine, n° 4, 1999.
51. Vitse P., Meert E., Dubois J.
Toitures : étanchéité et isolation. Colles bitumineuses à froid et approche ATG. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la Construction, CSTC-Magazine, n° 3, 1999.
52. Institut belge de normalisation
NBN EN 12524 Matériaux et produits pour le bâtiment - Propriétés hygrothermiques - Valeurs utiles tabulées. Bruxelles, IBN, 2000.

éditeur responsable : Carlo De Pauw
CSTC, rue de la Violette 21-23
1000 BRUXELLES

imprimerie : Claes Printing sa
lay out : Meersman I.D.



BRUXELLES

Siège social



Rue de la Violette 21 - 23
B-1000 Bruxelles

direction générale



02/502 66 90



02/502 81 80

publications



02/511 33 14



02/511 09 00

ZAVENTEM

Bureaux



Lozenberg n° 7
B-1932 Sint-Stevens-Woluwe
(Zaventem)



02/716 42 11



02/725 32 12

avis techniques - communication - qualité
informatique appliquée construction
techniques de planification
développement & innovation

LIMELETTE

Station expérimentale



Avenue Pierre Holoffe 21
B-1342 Limelette



02/655 77 11



02/653 07 29

recherche
laboratoires
formation
documentation
bibliothèque