

LES TECHNOLOGIES DES TOITURES PLATES

LE SUPPORT DU COMPLEXE ISOLANT - ÉTANCHÉITÉ

LA PENTE

LES FORMES DE PENTE

L'ÉLÉMENT PORTANT

Les dalles monolithiques ou les éléments préfabriqués rendus monolithiques

Les éléments préfabriqués sans couche de compression

Les planchers en bois ou dérivés

Les tôles profilées métalliques

Les panneaux de toiture composites avec isolation thermique intégrée

LE PARE-VAPEUR

LES FONCTIONS DU PARE-VAPEUR

LES TYPES DE PARE-VAPEUR

LA POSE DU PARE-VAPEUR

L'ISOLATION THERMIQUE

LES PERFORMANCES PRINCIPALES DES MATÉRIAUX ISOLANTS

Les sollicitations mécaniques externes

La compatibilité avec le support

La compatibilité avec la composition de toiture

Le comportement au feu

Le comportement en présence d'humidité

LES TYPES D'ISOLANTS THERMIQUES

LA POSE DE L'ISOLANT THERMIQUE

Le collage au bitume chaud

La pose à la colle bitumineuse à froid

La pose à la colle synthétique à froid

La fixation mécanique

L'ÉTANCHÉITÉ DE TOITURE

LES MEMBRANES BITUMINEUSES

La couche supérieure

La (les) sous-couche(s) éventuelle(s)

Les méthodes de pose

LES MEMBRANES SYNTHÉTIQUES

LES FEUILLES MÉTALLIQUES

L'ASPHALTE COULÉ

LES PROTECTIONS

LES PROTECTIONS LÉGÈRES

LES PROTECTIONS LOURDES

LE SUPPORT DU COMPLEXE ISOLANT - ÉTANCHÉITÉ

Tant en construction neuve qu'en rénovation, la nature du support du complexe isolant-étanchéité est généralement définie.

La nature du support influence donc les techniques choisies pour réaliser l'isolation thermique et l'étanchéité.

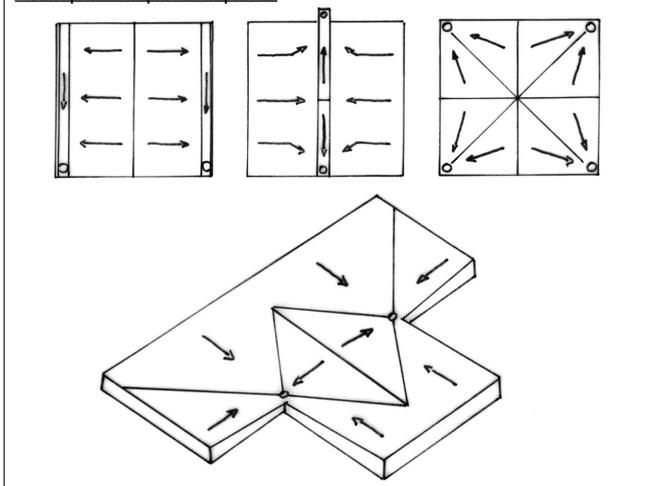
Les supports sont à considérer en fonction de :

- leur capacité portante ;
- leurs déflexions éventuelles (une déflexion étant une déformation ponctuelle formant un creux) ;
- leur coefficient de transmission thermique ;
- leur comportement hygrothermique ;
- leur étanchéité à l'air ;
- leur fluage.

LA PENTE

Remarque : l'architecte doit d'abord réaliser un plan général de configuration des pentes pour gérer les surépaisseurs, les rehaussements, les acrotères, etc. Ce plan doit être compatible avec les joints de tassement et de dilatation du bâtiment.

Exemples de plan de pente :



La pente doit être réalisée de façon à ce que toute l'eau de la toiture puisse s'évacuer.

Si une stagnation d'eau réduite doit être tolérée, sans quoi il serait impossible de réaliser pratiquement une toiture qui soit acceptable, les stagnations d'eau importantes sur une toiture présentent différents inconvénients [5] :

- 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 ;
- des saletés peuvent se concentrer et attaquer la protection contre les rayons ultraviolets.

La pente d'une toiture plate est comprise entre des valeurs minimales et maximales qui dépendent des facteurs suivants [20] :

- **le type de toiture plate** :
 - *toiture chaude* : pente minimale de 2 % ;
 - *toiture inversée* : pente minimale de 2 % ; sauf pour la toiture-jardin où on renonce à toute pente afin de retenir les eaux de pluie et d'arrosage et d'obtenir un niveau d'eau uniforme ;
- **le type de protection** :
 - *gravier* : pente maximale de 5 % afin d'empêcher le déplacement du gravier ;
 - *toiture-jardin* (voir Annexe 3) ;
- **le type de fixation de la membrane** : lorsque la membrane est fixée à l'aide de colle bitumineuse à froid, la pente maximale admissible est de 15 %, à cause de la plasticité de la colle.

De façon générale, dans les nouvelles constructions, la pente doit être de préférence d'au moins 2 % en tout point, et d'au moins 1 % dans les chéneaux réalisés avec le matériau d'étanchéité (0,5 % pour les chéneaux métalliques).

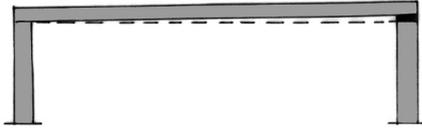
LES TECHNOLOGIES DES TOITURES PLATES

Remarque : la pente d'une toiture plate est donnée soit par l'élément portant lui-même, soit par une forme de pente rapportée, pouvant être l'isolant thermique, sur laquelle le complexe d'étanchéité est posé.

LES FORMES DE PENTE [5]

La pente peut être réalisée de différentes manières reprises dans le tableau ci-dessous.

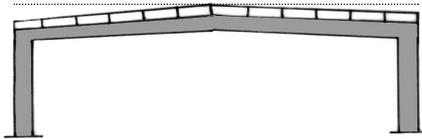
RÉALISATION DU PLANCHER DE TOITURE EN PENTE



Cette solution évite d'avoir recours à une pente supplémentaire et offre l'avantage de réduire le poids de la forme de pente ainsi que 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.

- Risque de stagnation d'eau : réel
- Augmentation du poids : nulle
- Augmentation de l'humidité de construction : nulle
- Pouvoir isolant par rapport au pouvoir isolant total : faible
- Niveau de compétence requis pour l'exécution : élevé

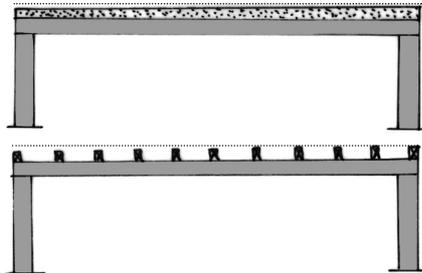
ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS POSÉS EN PENTE



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 - elle-même en pente - en béton, en acier ou en bois pour les éléments de toiture légers.

- Risque de stagnation d'eau : faible
- Augmentation du poids : nulle
- Augmentation de l'humidité de construction : nulle
- Pouvoir isolant par rapport au pouvoir isolant total : bon si béton cellulaire
- Niveau de compétence requis pour l'exécution : normal

POSE D'UNE FORME DE PENTE



La mise en oeuvre d'une forme de pente permet une bonne évacuation des eaux, quel que soit le type de plancher de toiture, mais augmente le poids de l'ensemble et peut renfermer de grandes quantités d'humidité de construction, surtout en cas de forte surépaisseur. Une forme de pente en charpente est également possible. La forme de pente doit être considérée comme un élément du plancher de toiture.

- Risque de stagnation d'eau : très faible
- Augmentation du poids : importante
- Augmentation de l'humidité de construction : importante
- Pouvoir isolant par rapport au pouvoir isolant total : faible
- Niveau de compétence requis pour l'exécution : élevé

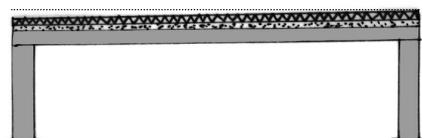
UTILISATION D'UNE ISOLATION À PENTE INTÉGRÉE OU DE GRANULATS LIÉS AU BITUME



Cette isolation offre l'avantage de n'occasionner qu'un léger supplément de poids et de ne pas renfermer une humidité de construction. Dans le cas de longues lignes de pente, les épaisseurs d'isolation peuvent toutefois devenir localement importantes. L'écran pare-vapeur éventuel doit toujours être placé sous l'isolation.

- Risque de stagnation d'eau : faible
- Augmentation du poids : très faible
- Augmentation de l'humidité de construction : nulle
- Pouvoir isolant par rapport au pouvoir isolant total : bon - très bon
- Niveau de compétence requis pour l'exécution : très élevé

COMBINAISON D'UNE ISOLATION À PENTE INTÉGRÉE ET D'UNE FORME DE PENTE



Cette combinaison des deux solutions précédentes est relativement légère et contient moins d'humidité de construction que le béton de pente.

Attention : 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 oeuvre s'effectue sur une étanchéité existante.

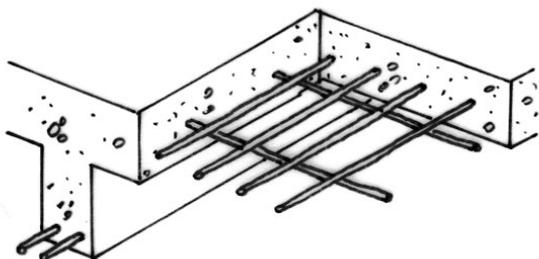
- Risque de stagnation d'eau : très faible
- Augmentation du poids : limitée
- Augmentation de l'humidité de construction : limitée
- Pouvoir isolant par rapport au pouvoir isolant total : bon
- Niveau de compétence requis pour l'exécution : très élevé

L'ÉLÉMENT PORTANT [5] [20]

LES DALLES MONOLITHIQUES OU LES ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS RENDUS MONOLITHIQUES

Les supports monolithiques peuvent être constitués :

- d'une dalle de béton coulé sur place donnant la pente ou d'une chape de pente coulée sur le support de structure principal ;
- des éléments préfabriqués en béton ou en terre cuite, solidarisés par un béton de solidarisation.

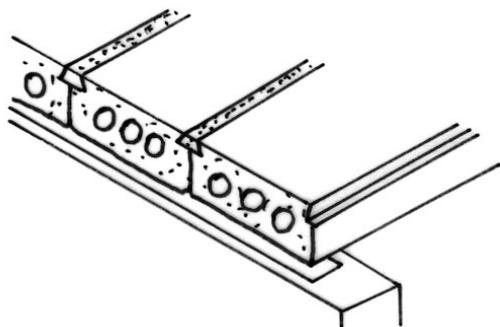


Les dalles en béton cellulaire diffèrent des hourdis en béton ; elles participent à l'isolation thermique et offrent une résistance thermique intéressante lorsque la toiture est de type inversée. De fortes épaisseurs sont néanmoins nécessaires pour atteindre les performances thermiques réglementaires ($U \leq 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Il faut faire attention à ce type de toiture auto-isolante en cas d'humidité importante (classe de climat III et IV) et en l'absence de pare-vapeur car les armatures risquent de se corroder.

LES ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS SANS COUCHE DE COMPRESSION

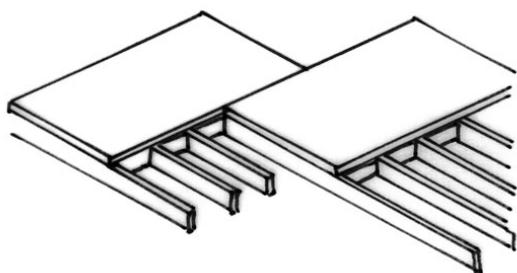
- Les hourdis en béton peuvent contenir une quantité importante d'humidité ; ils doivent être suffisamment secs en surface avant d'entamer les travaux de toiture.
- Les joints longitudinaux de ces éléments doivent toujours être remplis tant pour des raisons structurelles qu'afin de rendre le support de toiture étanche à l'air mais aussi pour améliorer la planéité globale de la surface.



LES PLANCHERS EN BOIS OU DÉRIVÉS

Ils peuvent être :

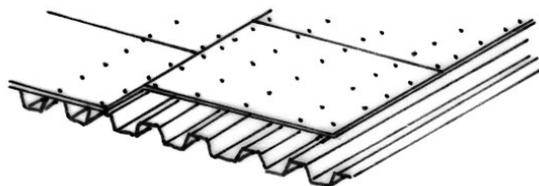
- des planches ou voliges en bois : tous les éléments en bois doivent être traités contre les moisissures et les insectes avant d'être mis en oeuvre. Les produits de traitement utilisés doivent être compatibles avec les autres matériaux mis en oeuvre ;
- des panneaux de particules et les panneaux multiplex : ils doivent avoir une épaisseur supérieure ou égale à 18 mm et un collage résistant à l'eau ;
- des panneaux OSB : leur collage doit être résistant à l'eau ;
- des panneaux en fibres-ciment ;
- des panneaux à base de copeaux de bois agglomérés au ciment.



LES TÔLES PROFILÉES MÉTALLIQUES

il faut veiller :

- au choix des tôles profilées à utiliser, qui doit résulter d'une étude de stabilité ;
- à l'épaisseur nominale des tôles (coating et galvanisation éventuels compris) ;
- à la stabilité et à la planéité du plancher de toiture, important que :
 - les tôles profilées reposent de préférence sur trois



RÉNOVATION [20]

Le support du complexe isolant-étanchéité est déterminant dans le choix de la technique de rénovation de la toiture.

• Connaître la nature du support

Dans le cas d'un bâtiment existant dont on souhaite améliorer l'isolation thermique, la nature du support influence nécessairement le choix des techniques de couverture à adopter, principalement en matière d'accrochage et de protection.

Il faut être attentif à éviter une condensation dans le support en dimensionnant correctement l'isolant thermique et le pare-vapeur.

• Connaître la résistance du support

Lorsque la toiture à améliorer est déjà lestée, on peut estimer que le support est capable de supporter un lestage et donc la récupération de l'ancien lestage ou la pose d'un nouveau sont possibles.

Dans le cas contraire, la pose d'un lestage nécessite de vérifier la capacité portante du support.

• Connaître l'état du support :

- la pente doit être suffisante ;
- la flèche du support doit être vérifiée : si la flèche est anormale (surcharge excessive, fluage, humidité excessive, etc.), il convient de supprimer la cause du désordre, d'assainir le support ou de le remplacer et de corriger les contre-pentes lorsque l'étanchéité ne supporte pas les stagnations ;
- s'il existe des traces d'humidité sous la toiture, il faut en déterminer la cause exacte, vérifier si cette cause existe encore, vérifier l'état du support par un ou des sondages, réparer ou remplacer les parties altérées ;
- un examen de la face inférieure du support, lorsqu'elle est visible, permet de détecter certaines faiblesses : fissuration, corrosion, traces d'attaque par les insectes, moisissures, taches d'humidité.

points d'appui au minimum ;

- les tôles profilées soient disposées en quinconce ;
- les tôles profilées soient soutenues sur tout le pourtour de la toiture ;
- les tôles profilées soient fixées les unes aux autres au moins tous les 0,5 m dans les joints longitudinaux ;
- les tôles profilées soient libres de toute tension lors de leur mise en oeuvre ;
- à l'étanchéité à l'air des ouvertures créées par les ondes des tôles à hauteur des rives ;
- aux joints entre les tôles profilées, qui pénalisent la résistance à la diffusion et la perméabilité à l'air des tôles ;
- à l'accumulation d'eau dans le creux des ondes pendant l'exécution ;
- au pontage des ondes : l'épaisseur de l'isolation doit être suffisante et dépend du type d'isolant choisi ;
- au traitement de surface des tôles profilées (durabilité et aspect).

LES PANNEAUX DE TOITURE COMPOSITES AVEC ISOLATION THERMIQUE INTÉGRÉE

- Le plancher est perméable à l'air du fait de la présence de joints entre les éléments du plancher.
- 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.

- Lorsque l'étanchéité est fixée mécaniquement, il faut veiller à ce que les joints entre les éléments sandwichs soient bien étanches à l'air (tant les points entre les éléments que les points entre appuis).

L'exécution est délicate et doit se faire conformément aux prescriptions stipulées dans l'ATG des éléments.

RECOMMANDATIONS

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

Consulter à ce sujet la NIT 215 du CSTC "La toiture plate : composition, matériaux, réalisation, entretien" [5].

La toiture plate nécessitant d'office une étanchéité totale à l'eau à l'extérieur, ne répond pas au principe général de la constitution d'une enveloppe vis à vis du transfert de vapeur, à savoir être de plus en plus perméable à la vapeur depuis l'intérieur vers l'extérieur.

Le pare-vapeur est donc ici pratiquement toujours nécessaire pour empêcher toute migration de vapeur d'eau à l'intérieur de la paroi de toiture plate.

LES FONCTIONS DU PARE-VAPEUR

La pose d'un écran pare-vapeur est réalisée afin d'éviter que la quantité de condensation interne ne devienne inadmissible du fait de la convection de l'air intérieur chargé d'humidité, de la diffusion de vapeur d'eau ou d'humidité de construction.

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

Le pare-vapeur remplit les fonctions suivantes :

- éviter une condensation excessive ;
- empêcher, dans l'isolant thermique, l'absorption d'eau par capillarité en provenance des éléments de construction contigus ;
- assurer l'étanchéité provisoire à l'eau de pluie lors de la construction ;
- assurer l'étanchéité à l'air.

Sur une toiture inversée, la fonction d'écran pare-vapeur est remplie par l'étanchéité qui est située sous l'isolation thermique.

LES TYPES DE PARE-VAPEUR

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.

On distingue quatre classes de climat intérieur en fonction de la pression de vapeur à l'intérieur des locaux (voir tableau page 6).

La performance d'étanchéité à la vapeur d'un écran pare-vapeur est représentée par sa valeur μd (épaisseur équivalente de diffusion) [m] où :

- μ est un coefficient sans dimension qui indique la résistance à la diffusion de la vapeur d'eau qu'oppose un matériau d'une épaisseur donnée, comparée à celle d'une couche d'air immobile de même épaisseur. Les valeurs μ sont étroitement liées à la nature des matériaux ;
- d est l'épaisseur du matériau en mètre.

La valeur μd qualifie la résistance qu'offre une couche de matériau à la diffusion de vapeur d'eau.

On distingue quatre classes de pare-vapeur ; celles-ci sont reprises dans le tableau de la page suivante, qui donne des informations relatives aux matériaux entrant dans la composition des pare-vapeur, ainsi qu'à leur épaisseur équivalente de diffusion μd [5].

LES TECHNOLOGIES DES TOITURES PLATES

CLASSE	MATERIAU	REMARQUES
E1 2 m ≤ μd < 5 m	<ul style="list-style-type: none"> • papier kraft revêtu d'une feuille d'aluminium ; • carton plâtre revêtu d'une feuille d'aluminium ; • papier bituminé. 	Une couche d'adhérence ne peut pas être considérée comme un écran pare-vapeur à part entière, même sur un support continu.
E2 5 m ≤ μd < 25 m	<ul style="list-style-type: none"> • feuilles de matière synthétiques (PE ou PVC > 0,1 mm) ; • membranes bitumineuses avec joints fermés mécaniquement (chevauchement et agrafage, par etc.). 	Les joints de recouvrement doivent toujours être collés ou soudés entre eux et aux autres éléments de construction.
E3 25 m ≤ μd < 200 m	<ul style="list-style-type: none"> • bitumes armés avec voile de verre et joints collés ou soudés. 	Les joints de recouvrement doivent toujours être collés ou soudés entre eux et aux autres éléments de construction.
E4 200 m ≤ μd	<ul style="list-style-type: none"> • bitumes armés avec métal et joints collés ou soudés (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 ne sont pas admises.

LES CLASSES DE PARE-VAPEUR [5] [4]

SUPPORT OU FORME DE PENTE	Classe du climat intérieur	Mousses synthétiques		Laine minérale MW Perlite EPB Liège ICB		Verre cellulaire CG
		Technique de pose de l'étanchéité (k)				
		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	(j)	E4	(j)	E4	(d)
Voligeage ou panneaux à base de bois résistant (e) (f)	I	-	-	-	-	-
	II	E1 (g)	E1 (g)	E2	E2	(h)
	III	E2	E2	E3	E3	(h)
	IV	(j)	E4	(j)	E4	(d)
Tôles profilées métalliques	I	(i)	(i)	-	-	-
	II	E1 (g)	E1 (g)	E2	E2	(h)
	III	E2	E2	E3	E3	(h)
	IV	(j)	E4	(j)	E4	(d)
Panneaux sandwichs autoportants	I	Ces panneaux appartiennent généralement à la classe de pare-vapeur E1. Les dispositions relatives à la résistance au passage de la vapeur d'eau sont prévues dans l'ATG des panneaux.				
	II					
	III					
	IV					

- (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.
- (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 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, 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 en panneau, 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.
- (j) La fixation mécanique au travers du pare-vapeur n'est pas autorisée en classe de climat IV.
- (k) Différentes techniques de pose existent pour les couches d'étanchéité : fixation mécanique (M), en indépendance (L), en adhérence totale (T) et en semi-indépendance (P).

Le tableau ci-contre [5] présente les données moyennes calculées pour chaque type de pare-vapeur à utiliser en fonction des caractéristiques du plancher de toiture, de l'isolation thermique et de la classe de climat intérieur.

Les matériaux d'isolation thermique sont différenciés en deux familles :

- les mousses synthétiques :
 - polyuréthane PUR ;
 - polyisocyanurate PIR ;
 - polystyrène expansé EPS ;
 - polystyrène extrudé XPS ;
 - mousse phénolique PF ;
- les matériaux d'origine naturelle :
 - laine minérale MW ;
 - perlite EPB ;
 - Liège ICB ;
 - le verre cellulaire CG.

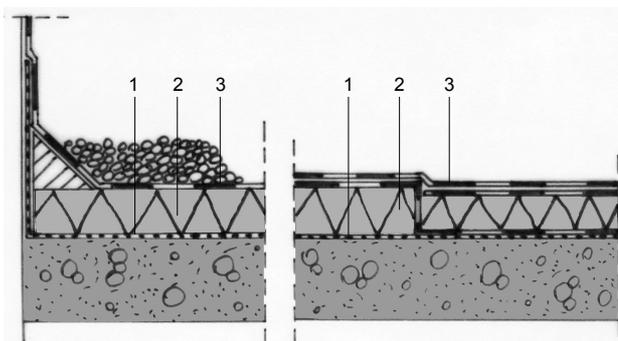
Ces données peuvent servir de solutions alternatives à des calculs plus détaillés.

DONNÉES MOYENNES CALCULÉES POUR CHAQUE TYPE DE PARE-VAPEUR À UTILISER EN FONCTION DES CARACTÉRISTIQUES DU PLANCHER DE TOITURE, DE L'ISOLATION THERMIQUE ET DE LA CLASSE DE CLIMAT INTÉRIEUR [5]

REMARQUES

- **Compatibilité** : lorsque l'étanchéité est de type bitumineux, on pose de préférence un pare-vapeur bitumineux. Lorsque l'étanchéité est de type synthétique, on pose de préférence un pare-vapeur synthétique. Les deux types de matières peuvent être combinées à condition d'être compatibles entre elles, car elles sont en contact au droit des rives et des lignes de compartimentage de l'isolant thermique.
- **Rénovation** : l'étanchéité existante peut être conservée et faire office de pare-vapeur. Dans ce cas, il convient de vérifier si ce pare-vapeur présente une étanchéité suffisante à la vapeur.
- **Panneaux sandwichs** :
 - lorsque la classe du climat intérieur du bâtiment protégé ne dépasse pas la classe III, les panneaux doivent présenter une résistance à la diffusion de vapeur μ d au moins équivalente à celle d'un pare-vapeur de classe E1. Dans ce cas, les joints entre les panneaux doivent être munis d'emboîtement. Les joints doivent être mastiqués ou pontés pour éviter les condensations parasites ;
 - lorsque le climat intérieur du bâtiment protégé est de la classe IV, il faut prévoir un pare-vapeur de classe supérieur ou égale à E3, sous les panneaux et sans fixation mécanique.

RACCORDEMENT DE L'ÉCRAN PARE-VAPEUR ET DE L'ÉTANCHÉITÉ [5]



1 : écran pare-vapeur
2 : isolation
3 : étanchéité

COMPARTIMENTAGE
DE L'ISOLATION THERMIQUE

- **Compartimentage de l'isolation thermique** :
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. On peut remédier à cette dernière difficulté sur chantier, en compartimentant l'isolation thermique en fin de chaque journée de travail. Ce compartimentage s'effectue en assemblant l'étanchéité et l'écran pare-vapeur, pour autant qu'ils soient compatibles. Cette technique de compartimentage peut aussi s'employer pour diviser la toiture suivant les zones de vent. En cas de tempête, le compartimentage réduit les risques d'arrachage complet de l'étanchéité sur des planchers étanches à l'air.

LA POSE DU PARE-VAPEUR

Le pare-vapeur se pose toujours du côté chaud par rapport à l'isolant thermique et il doit être continu.

Il faut être attentif à ne pas emprisonner d'eau dans les couches situées entre l'écran pare-vapeur et la membrane d'étanchéité.

Aux rives et raccords, l'étanchéité et le pare-vapeur sont reliés en emprisonnant complètement l'isolant thermique.

Le mode de pose du pare-vapeur dépend :

- **Du mode de pose et de fixation de l'isolant thermique et de l'étanchéité** :

- lorsque l'étanchéité est posée en indépendance totale ou fixée mécaniquement, le pare-vapeur peut être posé en indépendance totale. Il est toutefois préférable de le poser en semi-indépendance pour faciliter la mise en oeuvre ;
- lorsque l'étanchéité et l'isolant sont collés, le pare-vapeur doit également être collé de façon à ce que l'ensemble puisse résister au vent.

- **Du support** :

- **sur les supports en bois** :
 - écrans pare-vapeur bitumineux : ils peuvent être posés en indépendance, collés, posés au bitume chaud ou fixés mécaniquement ;
 - 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 ;
- **sur les supports en tôles profilées** : écrans pare-vapeur de classe E1, E2 et E3 posés en indépendance, collés, soudés ou fixés mécaniquement.

Tous les joints doivent être pourvus d'un recouvrement et les joints longitudinaux doivent se trouver sur la nervure supérieure du support.

Pour la classe de climat IV, le pare-vapeur doit être posé par collage sur un support continu fixé mécaniquement sur le support en tôles profilées.

- **sur les autres supports** :

- pose en indépendance : uniquement en cas d'étanchéité ou d'isolation lestée ou fixée mécaniquement ;
- l'adhérence totale ou l'adhérence partielle (collage à chaud ou à froid) sont admises dans tous les cas.

- **Des raccords** :

Au droit des rives de toiture, des relevés et des pénétrations, l'écran pare-vapeur et l'étanchéité doivent être raccordés entre eux selon les principes illustrés ci-contre [5] ; l'isolation thermique se trouve donc enfermée entre l'écran pare-vapeur et l'étanchéité.

L'ISOLATION THERMIQUE

La conductivité thermique λ d'un matériau représente la quantité de chaleur traversant, par unité de temps, un mètre carré d'un matériau homogène ayant une épaisseur d'un mètre et soumis à une différence de température de un degré Kelvin entre ses deux faces [4].

Lorsque la toiture est bien isolée, la transmission de chaleur et les mouvements thermiques du support de toiture sont limités et la formation de moisissures et de condensation superficielle est évitée.

Le pouvoir isolant est déterminé par :

- la valeur λ (voir définition ci-contre) ;
- l'épaisseur de l'isolation, ainsi que par la qualité de mise en oeuvre.

Le matériau doit également conserver une efficacité isolante suffisante dans le temps. Celle-ci dépendra du comportement du matériau aux sollicitations mécaniques, à l'humidité, au vieillissement, etc.

LES PERFORMANCES PRINCIPALES DES MATÉRIAUX ISOLANTS

LES SOLLICITATIONS MÉCANIQUES EXTERNES

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

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

Les sollicitations et l'utilisation de la toiture (qui peut être accessible ou non), limitent le choix des matériaux isolants. Chacun des matériaux disponibles sur le marché possède une résistance à l'écrasement spécifique.

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

Si on classe les matériaux isolants couramment utilisés pour les toitures plates, du plus résistant au moins résistant aux sollicitations mécaniques, on obtient :

- le verre cellulaire ;
- la perlite expansée ;
- le liège ;
- la mousse de polystyrène extrudé ;
- la mousse de polystyrène expansé ;
- la mousse phénolique, la mousse de polyuréthane, la mousse de polyisocyanurate ;
- la laine de roche.

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 et D (voir tableau ci-contre).

LA COMPATIBILITÉ AVEC LE SUPPORT

Lorsque le support est relativement souple et exposé à des mouvements dus au vent, aux charges, etc., il y a intérêt à choisir un matériau isolant suffisamment souple comme la laine de roche, pour suivre le mouvement sans subir de contraintes importantes.

CLASSIFICATION DE L'ISOLANT DU POINT DE VUE DE SA COMPRESSIBILITÉ

CLASSE	DÉFORMATION	TEMPÉRATURE [°C] (*)	CHARGE D'ESSAI [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.

L'aptitude à l'emploi des différentes classes d'isolants, suivant la destination de la toiture, est appréciée sur la base des règlements nationaux :

A : toiture uniquement accessible pour l'entretien (non applicable pour une toiture plate).

B : toiture uniquement accessible pour l'entretien.

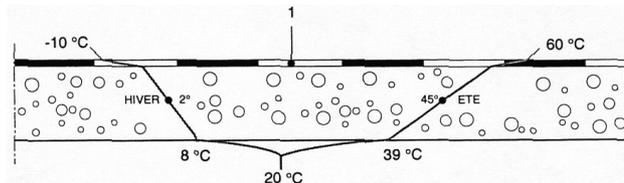
C : toiture accessible aux piétons. Peut être utilisée pour l'entretien fréquent d'équipements.

D : toiture accessible aux véhicules légers. Ne peut être utilisée que si le revêtement d'étanchéité est protégé par un dallage en béton ou autre.

MOUVEMENTS THERMIQUES [5]

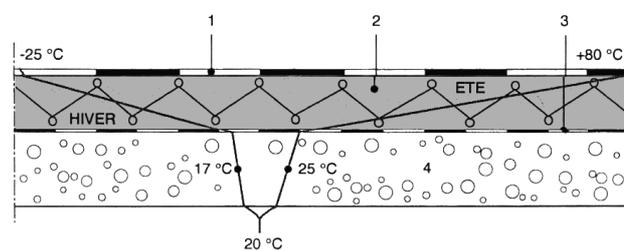
Une toiture plate peut être soumise à des fluctuations très importantes de température. Celles-ci entraînent non seulement des tensions superficielles au droit de l'étanchéité (dilatation/retrait), mais elles provoquent également un gradient de température dans le matériau d'isolation, ce qui peut impliquer un risque de déformation.

La plupart des panneaux isolants étant peu rigides, une fixation appropriée peut empêcher ce phénomène.



1 : étanchéité

EVOLUTION DES TEMPÉRATURES POUR UNE TOITURE NON ISOLÉE [5]



1 : étanchéité

2 : isolation

3 : écran pare-vapeur

4 : support en béton

EVOLUTION DES TEMPÉRATURES POUR UNE TOITURE ISOLÉE [4]

LA COMPATIBILITÉ AVEC LA COMPOSITION DE TOITURE

- Pour une toiture inversée, le seul matériau isolant généralement utilisé est la mousse de polystyrène extrudé XPS, à cause de sa très faible absorption d'eau.
- Pour une toiture chaude, la mise en oeuvre de panneaux de mousse de polystyrène extrudé XPS n'est pas indiquée car son coefficient de dilatation thermique est élevé.

La mousse de polystyrène expansé EPS ne peut être utilisée que moyennant certaines précautions prescrites par les fabricants. Elle doit être recouverte sur les deux faces d'un voile de verre bitumé avec recouvrement au droit des joints. Il est conseillé de couvrir cette toiture d'un lestage car ce matériau résiste mal à une température supérieure à 70°C.

Dans le cas de revêtements d'étanchéité posés sur de la mousse de polyuréthane PUR, le matériau isolant doit être revêtu d'un voile de verre bitumé sur les deux faces. La laine de verre est à proscrire à cause de sa faible résistance à l'écrasement et à l'arrachement.

LE COMPORTEMENT AU FEU

Suivant le degré de sécurité que l'on souhaite atteindre, on détermine le degré d'inflammabilité acceptable pour l'isolant thermique.

Les mousses de polystyrène et de polyuréthane sont inflammables et résistent mal à la chaleur.

Les seuls isolants ininflammables pour les toitures plates sont le verre cellulaire et la laine de roche.

Il faut également veiller à ce que le panneau ne dégage pas de gaz toxique lorsqu'il est exposé à la chaleur d'un incendie.

LE 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.

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

- par la pluie pendant l'entreposage et la pose ;
- par des fuites occasionnelles ;
- par l'humidité de construction et/ou la condensation interne.

LES TYPES D'ISOLANTS THERMIQUES

Les encadrés de la page suivante reprennent les principaux types d'isolants thermiques.

Nous ne considérons ici que les matériaux de toiture dont la valeur λ est tout au plus égale à 0,065 W/mK et qui disposent d'un agrément technique.

Remarque : la laine de verre ne peut être utilisée dans une toiture plate car elle possède une résistance au vent insuffisante.

Il faut noter que pour être utilisé en toiture plate, un matériau doit bénéficier d'un agrément technique (ATG) délivré par l'Union Belge pour l'Agrément technique dans la construction (UBATc). Dans ce cas, sa conductivité thermique est notée λ_d ("valeur déclarée") et est déterminée statistiquement sur la base d'un certain nombre de valeurs de mesure individuelle.

Si la valeur λ_d n'est pas déterminée par voie statistique, on peut utiliser les valeurs λ_d reprises dans l'addendum (1997) de la norme NBN B62-002 [14].

Les nouvelles valeurs λ_d sont supérieures à celles qui sont déterminées selon la méthode de calcul statistique et qui sont contrôlées dans le cadre de la certification ATG.

LES TECHNOLOGIES DES TOITURES PLATES

TYPE D'ISOLANT	CONDITIONNEMENT COMMERCIAL	MASSE VOLUMIQUE [kg/m ³]	CONDUCTIVITE THERMIQUE λ [W/mK]		PERMEABILITE A LA VAPEUR D'EAU μ [état sec]	PERMEABILITE A L'AIR	RESISTANCE A LA COMPRESSION [daN/cm ²]	REACTION AU FEU
			λ_d	λ_u				
Laine de roche MW	Panneaux rigides ou semi-rigides, rouleaux, flocons	150 à 175	0,032 à 0,041	0,045	1,2 - 1,3	Totalement perméable	0,7 à 1,3 (*)	Non combustible (sauf si recouverte de papier)
Verre cellulaire CG	Panneaux rigides	120 à 135	0,040 à 0,048	0,055	Infini	Imperméable	7 à 16 (à la rupture)	Non combustible
Perlite expansée EPB	Grains ou panneaux rigides	150	0,052 à 0,055	0,060	5 - 7	Perméable	3,5 (*)	Non combustible
Polyuréthane PUR	Panneaux rigides avec ou sans emboîtements	30	0,024 à 0,029	0,035	10 - 100	Très faiblement perméable	1,2 (*)	Combustible
Polyisocyanurate PIR	Panneaux rigides avec ou sans emboîtements	30	0,024 à 0,029	0,035	10 - 100	Très faiblement perméable	1,2 (*)	Difficilement inflammable
Polystyrène expansé EPS	Panneaux rigides avec ou sans emboîtements	25	0,033 à 0,040	0,045	15 - 60	Très faiblement perméable	0,7 à 3,5 (*)	Combustible
Polystyrène extrudé XPS	Panneaux rigides avec ou sans emboîtements	30	0,027 à 0,034	0,040	150 - 300	Très faiblement perméable	3 à 7 (*)	Combustible
Mousse phénolique PF	Panneaux	40	0,020 à 0,025	0,045	1,5 - 3	Très faiblement perméable	1,2 (*)	Difficilement inflammable
Liège ICB	Panneaux	100 à 120	$\lambda_{doc} = 0,045$		4,5 - 29	Perméable	1	Difficilement inflammable

(*) à 10 % de déformation (valeur moyenne)

TABEAU REPRENANT LES PRINCIPALES CARACTÉRISTIQUES DES DIFFÉRENTS MATÉRIAUX ISOLANTS [29] [20] [4]

LES MOUSSES SYNTHÉTIQUES

• Le polyuréthane PUR et le polyisocyanurate PIR

Les panneaux de polyuréthane destinés aux toitures sont couverts d'un revêtement synthétique sur les deux faces.

La résistance au délaminage dû au vent du PUR est bonne en soi, mais la plupart des étanchéités bitumineuses doivent être collées en semi-adhérence sur le PUR, ce qui les rend moins résistantes à la tempête. On peut améliorer cette résistance par un collage de la première couche d'étanchéité en adhérence totale avec une colle bitumineuse à froid, par lestage, ou par un collage partiel préalable de la couche perforée.

Les panneaux de polyisocyanurate présentent un meilleur comportement au feu que le polyuréthane.

• Le polystyrène expansé EPS

En toiture chaude, il importe d'avoir des panneaux suffisamment stabilisés et recouverts sur les deux faces d'un voile de verre bitumé avec recouvrement au droit des joints.

L'EPS ne peut pas être exposé à des températures excédant 70°C ; c'est pourquoi il est important de recouvrir l'étanchéité par un lestage.

• Le polystyrène extrudé XPS

Il se caractérise par une structure d'extrusion qui empêche l'absorption d'humidité, ce qui permet son application dans une toiture inversée.

Sa mise en oeuvre dans une toiture chaude est exclue à cause de son coefficient de dilatation thermique élevé.

• La mousse phénolique PF

Un panneau à base de mousse phénolique possède une structure cellulaire fermée, un bon comportement au feu. Seules les étanchéités de toiture lestées ou fixées mécaniquement sont autorisées.

LES MATÉRIAUX D'ORIGINE MINÉRALE

• La laine de roche MW

Les fibres de laine de roche sont liées à l'aide de résines synthétiques polymérisées pour former des rouleaux et des panneaux. Ceux-ci peuvent présenter différentes rigidités et finitions de surface.

Les panneaux de laine de roche destinés aux toitures plates sont de densité importante et de fabrication particulière (sens des fibres) pour garantir une rigidité suffisante et une résistance suffisante au délaminage. Ces panneaux sont surfacés de voile de verre et/ou de bitume.

• Le verre cellulaire CG

Le verre cellulaire est une mousse de verre obtenue par expansion de celui-ci lorsqu'il est en fusion. Les cellules ainsi formées contiennent un gaz inerte.

Le CG se caractérise par une grande étanchéité à la vapeur d'eau. Il n'exige habituellement pas d'écran pare-vapeur, à condition que le matériau soit enrobé de bitume sur toutes ses faces et que les joints soient bien remplis de bitume.

Il faut tenir compte de la fragilité de ce matériau en faible épaisseur.

• La perlite expansée EPB

Elle est obtenue à partir de pierre volcanique rhyolitique concassée et expansée à une température d'environ 900°C. Elle est mélangée à des fibres cellululosiques et à un liant bitumineux pour former des panneaux.

Elle se caractérise par une grande résistance à la compression et au poinçonnement mais elle ne résiste pas à une humidification prolongée.

LE LIÈGE ICB

C'est un matériau d'isolation naturel d'origine végétale.

VALEURS DE RÉFÉRENCE [20]

Pour les logements, bâtiments d'hébergement, bureaux et bâtiments scolaires neufs ou rénovés, la réglementation thermique wallonne impose pour les toitures, une valeur maximale du coefficient de transmission thermique de : $U \leq 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Pour une toiture chaude, elle correspond à une épaisseur approximative d'isolant :

- de 11 cm de laine minérale ;
- ou de 7 cm de mousse de polyuréthane ;
- ou de 12 cm de verre cellulaire.

Pour une toiture inversée, elle correspond à une épaisseur d'isolant d'environ 14 cm de mousse de polystyrène extrudé.

Lorsque l'isolant thermique n'est pas fixé au support, on dit qu'il est posé en indépendance ; il est alors nécessaire de le lester ou de lester l'étanchéité qui le couvre. Ce type de pose ne convient pas pour le verre cellulaire.

La fixation de l'isolant thermique est toujours conseillée, même sous une étanchéité posée en indépendance.

LA POSE DE L'ISOLANT THERMIQUE

Le mode de pose de l'isolation thermique dépend de celui de l'étanchéité. Lorsque l'étanchéité est fixée mécaniquement ou lestée, l'isolation peut être posée librement, bien qu'il soit préférable, pour faciliter la mise en oeuvre, de prévoir une pose en semi-indépendance ou encore certaines fixations mécaniques.

Lorsque l'étanchéité est collée, l'isolation thermique est collée ou fixée mécaniquement.

Quelle que soit la technique de pose, il faut placer la première couche de l'étanchéité immédiatement après avoir posé l'isolant.

LE COLLAGE AU BITUME CHAUD

La méthode de collage à plein bain de bitume consiste à déverser un bitume chaud et liquide sur le support et à déposer, immédiatement dans le bitume, l'isolant à faire adhérer. Le bitume que l'on utilise pour le collage à chaud est le bitume soufflé (ou bitume oxydé) chauffé à environ 200°C.

Ce système convient à tous les supports de toiture sauf aux tôles profilées en acier ; en effet, sur l'acier, le bitume se refroidit trop vite et la surface de collage est réduite de par la forme des profilés.

Il est parfois nécessaire d'appliquer un vernis d'adhérence sur certains supports, comme le béton ou l'acier, avant de couler le bitume.

Le bitume chaud 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.

S'il s'agit de PUR ou PIR, il faut interposer une membrane perforée pour le collage par points.

LA POSE À LA COLLE BITUMINEUSE À FROID

La mise en oeuvre de la colle et la quantité dépendent du type de support et de l'action du vent sur la toiture.

La colle est appliquée sur l'entièreté de la surface du support ou sur une partie de celui-ci, par bandes ou plots.

Ces colles restant longtemps plastiques, elles peuvent provoquer des déplacements inadmissibles des panneaux d'isolation lorsque ceux-ci sont posés sur des supports déformables.

LA POSE À LA COLLE SYNTHÉTIQUE À FROID

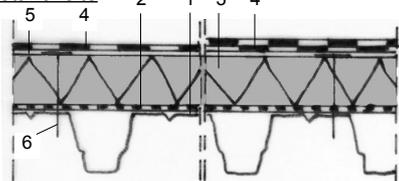
La quantité de colle à utiliser dépend de la qualité du support, de la qualité du matériau à coller et de l'action du vent sur la toiture.

La colle est généralement appliquée sur une partie de la surface du support, par bandes.

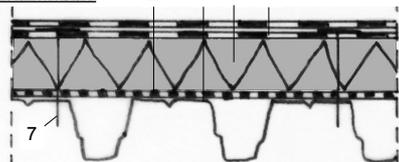
Ces produits doivent être fournis ou agréés par les fabricants des isolants.

FIXATION MÉCANIQUE D'UNE TOITURE CHAUDE SUR DES TÔLES PROFILÉES MÉTALLIQUES [5]

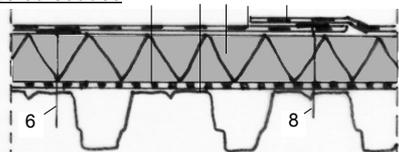
- Fixation mécanique des panneaux d'isolation et collage ou soudage de l'étanchéité



- Fixation mécanique de la sous-couche et collage ou soudage de la couche de finition



- Fixation mécanique d'une étanchéité monocouche dans les joints collés ou soudés



- 1 : tôle profilée en acier
- 2 : écran 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

LA FIXATION MÉCANIQUE

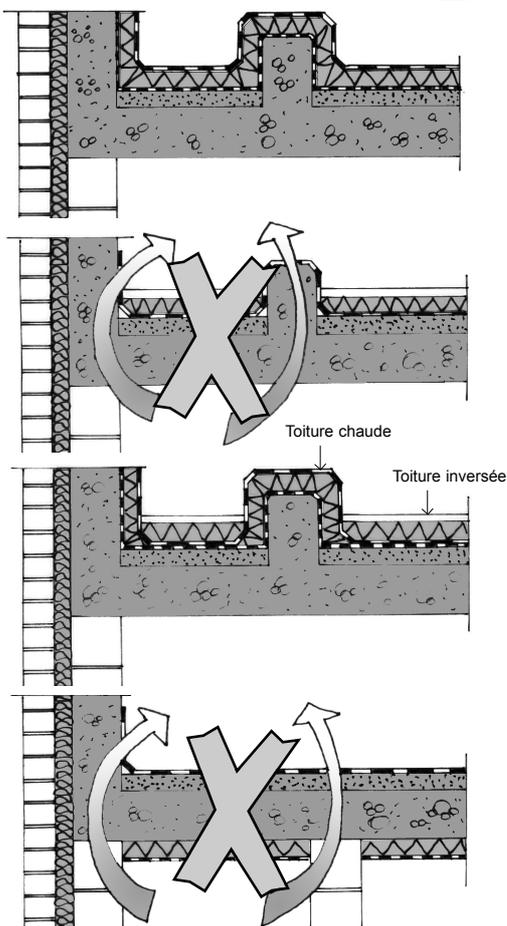
Cette méthode est en principe possible sur tous les supports mais ne s'applique en pratique que sur les supports en bois et les tôles profilées en acier.

Elle est compatible avec tous les matériaux d'isolation, excepté le verre cellulaire.

L'isolation est fixée au moyen de plaquettes de répartition et de vis autoforantes. Le nombre de points de fixation dépend de l'action du vent, des propriétés mécaniques de l'isolation ainsi que du type et des dimensions de l'ancrage. On distingue trois méthodes de mise en oeuvre (voir schémas ci-contre) [5] :

- fixation mécanique des panneaux d'isolation et collage ou soudage de l'étanchéité ;
- fixation mécanique de la sous-couche de l'étanchéité et collage ou soudage de la couche de finition ;
- fixation mécanique d'une étanchéité monocouche dans les joints collés ou soudés.

LES PONTS THERMIQUES [20]



L'isolation thermique de certains ouvrages de raccord (rives, chéneaux, pénétrations verticales, lanterneaux, etc.) est difficile à réaliser et nécessite un soin important. C'est donc à ces endroits que le risque de pont thermique est le plus important. La méthode d'isolation rendra plus ou moins difficile la suppression des ponts thermiques.

La toiture chaude permet la fixation de l'isolant sur les remontrées.

Par contre, la toiture inversée ne permet pas de fixer l'isolant verticalement. Dans ce cas, les parties verticales peuvent être isolées par la technique de la toiture chaude.

Certains indices peuvent révéler la présence de ponts thermiques. Le plus flagrant est la présence d'eau condensée sur la paroi. Mais la zone peut être simplement humide (l'eau s'étant condensée à l'intérieur du matériau) ou être provisoirement sèche. Dans ce cas, l'humidité peut avoir laissé des traces (moisissures, taches, etc.).

Un thermomètre de contact permet de comparer la différence de température entre les différentes zones de la paroi concernée. En hiver, à l'endroit du pont thermique, la température superficielle intérieure est nettement inférieure à celle des éléments environnants.

L'isolant d'une toiture froide ou d'une toiture isolée par l'intérieur est généralement interrompu par les murs supportant la toiture.

Pour rappel, ce type de toiture est à proscrire.

RÉNOVATION [20]

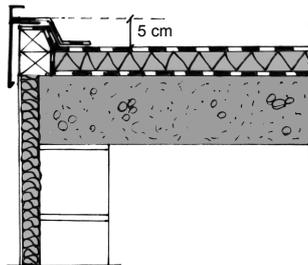
• Comment isoler une toiture existante non isolée ?

Le plus souvent possible, on réalisera une **toiture chaude** en plaçant l'isolant thermique en sandwich entre deux étanchéités (le pare-vapeur en dessous et la membrane au-dessus).

Lorsque la membrane d'étanchéité existante est encore suffisamment bonne pour servir de pare-vapeur, et lorsqu'elle est encore suffisamment accrochée au support pour assurer la stabilité au vent si la couverture n'est pas lestée, on peut la conserver.

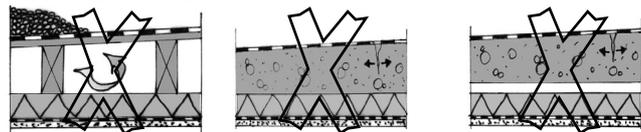
On peut également poser l'isolant au-dessus d'une membrane d'étanchéité existante : on réalise ainsi une **toiture inversée**. Celle-ci peut être envisagée lorsque :

- la membrane d'étanchéité existante est récente et peut être récupérée ;
- le support tolère la charge du lestage ;
- les rives du toit sont assez hautes pour déborder d'au moins 5 cm le bord supérieur des panneaux isolants ;
- la forme de la toiture n'est pas trop compliquée (difficulté de réaliser des remontées de l'isolant).



• Que faire d'une toiture isolée par l'intérieur ?

C'est le cas lorsque la toiture est une toiture froide, lorsque l'isolant se trouve accroché sous le support ou lorsqu'il existe un faux-plafond isolant sous la toiture.



Etant donné la difficulté de réaliser un pare-vapeur continu, la vapeur d'eau risque de former de la condensation dans la toiture. De plus, le support est soumis aux chocs thermiques.

Si la toiture est assez isolée, que l'usage des locaux n'est pas modifié et qu'aucun désordre (fissures, humidité, etc.), y compris interne, ne se manifeste, on peut éventuellement conserver le système existant.

Lorsque, dans le cadre d'une rénovation, l'isolation d'une toiture froide existante doit être renforcée, il faut transformer cette toiture en toiture chaude et enlever l'isolant ancien.

Il est, en général, plus difficile de transformer une toiture froide en toiture inversée car les supports des toitures froides sont souvent légers et ne supportent pas l'augmentation du poids du lestage nécessaire. De plus la ventilation interne à la toiture doit être rigoureusement supprimée.

Une autre solution consiste à appliquer une seconde isolation thermique sur le béton de pente. Il faut, dans ce cas, être particulièrement attentif à la remontée de l'isolant par rapport au trop-plein.

• Comment renforcer l'isolation thermique d'une toiture chaude ?

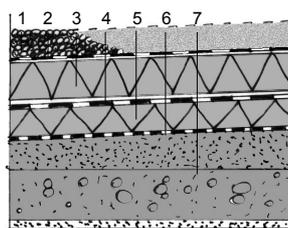
- Si l'isolant thermique est dégradé :

- l'étanchéité et l'isolant doivent être complètement enlevés ;
- le pare-vapeur peut être conservé sauf s'il est mal accroché ou si le support lui-même est dégradé ;
- les rives sont éventuellement adaptées à la nouvelle épaisseur d'isolant ;
- on réalise un nouveau système de couverture isolée, de préférence une toiture chaude, sinon une toiture inversée.

- Si l'isolant thermique est en bon état et bien accroché :

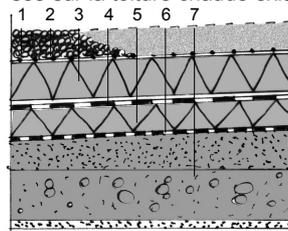
- l'isolant est conservé ainsi que la membrane d'étanchéité, lorsque celle-ci est encore assez accrochée au support pour résister au vent ;

- une nouvelle toiture chaude est posée sur la couverture existante.



- 1 : lestage récupéré et remplacé
- 2 : nouvelle membrane d'étanchéité
- 3 : nouvel isolant thermique
- 4 : membrane d'étanchéité conservée
- 5 : isolant thermique conservé
- 6 : pare-vapeur conservé
- 7 : béton de pente et support

Lorsque la membrane d'étanchéité existante est récente et peut être récupérée, et lorsque le support tolère la charge d'un lestage, on peut réaliser une toiture combinée en plaçant une toiture inversée sur la toiture chaude existante.



- 1 : lestage récupéré et remplacé
- 2 : natte de protection
- 3 : nouvel isolant thermique
- 4 : membrane d'étanchéité conservée
- 5 : isolant thermique conservé
- 6 : pare-vapeur conservé
- 7 : béton de pente et support

• Comment renforcer l'isolation thermique d'une toiture inversée ?

Il faut s'abstenir d'ajouter une nouvelle couche d'isolant sur l'isolant existant, pour éviter des problèmes de condensation interne dans l'isolant.

L'isolant thermique existant doit donc être enlevé et remplacé par un isolant plus épais.

On peut également réaliser une nouvelle toiture chaude, surtout si la membrane d'étanchéité est en mauvais état et doit être remplacée. La membrane existante peut éventuellement servir de pare-vapeur.

• Que faire lorsque l'isolant thermique est détremé ?

Un isolant thermique trempé perd toute son efficacité : il faut donc le remplacer, ce qui nécessite en outre l'enlèvement de la membrane d'étanchéité et la pose d'une nouvelle.

Lorsque les désordres sont dus à un défaut du pare-vapeur, outre le remplacement de l'isolant et de la membrane, le pare-vapeur lui-même devra être renforcé ou remplacé par un autre plus efficace.

Remarque : le verre cellulaire posé en toiture compacte ne peut s'humidifier puisqu'il est étanche tant à l'eau qu'à la vapeur d'eau. Il ne sera donc jamais nécessaire de le remplacer pour cause d'humidification.

• Que faire lorsque l'isolant thermique est écrasé ?

Lorsque l'isolant a été accidentellement écrasé, ses qualités d'isolation thermique diminuent à l'endroit de l'écrasement.

Si l'écrasement est local, il y a un risque de pont thermique à cet endroit. S'il ne provoque pas de condensation superficielle ou interne, l'écrasement localisé n'a pour seule conséquence qu'une perte d'énergie de chauffage.

Si l'écrasement concerne de grandes surfaces, la qualité thermique de la toiture est fortement diminuée et il convient dès lors de vérifier si le niveau d'isolation thermique souhaité est bien satisfait.

• Que faire lorsque l'isolant thermique n'est plus continu ?

Suite à des retraits, des mouvements thermiques ou des contraintes mécaniques extérieures, il arrive que les panneaux isolants se déplacent ou rétrécissent, créant ainsi des discontinuités dans la couche isolante. Si les joints ainsi créés ne sont pas bouchés, l'isolation thermique est interrompue : il se crée alors un pont thermique et la qualité thermique de la toiture est diminuée. Il convient de vérifier si le niveau d'isolation résultant est toujours acceptable, sinon il faut réparer le désordre.

Il est également nécessaire d'intervenir si la déformation de l'isolant thermique a provoqué une rupture de la membrane d'étanchéité, accompagnée d'infiltrations d'eau.

L'ÉTANCHÉITÉ DE TOITURE

Pour réaliser l'étanchéité de la toiture plate, on a le choix entre différents types de membranes qui possèdent des caractéristiques différentes les rendant plus ou moins aptes à répondre aux exigences du chantier.

Le choix du type de membrane dépend des possibilités d'exécution, du type de support et d'isolant thermique, des conséquences d'une fuite éventuelle, des moyens de localiser une fuite et de la réparer.

LES MEMBRANES BITUMINEUSES

Une membrane bitumineuse est constituée d'une armature enrobée de bitume. L'étanchéité des toitures plates s'obtient par la pose d'une ou plusieurs membranes bitumineuses superposées dont les lés sont soudés latéralement les uns aux autres et en bout.

On parle d'un système "monocouche" lorsqu'une seule épaisseur de membrane est posée et d'un système "multicouche" lorsque plusieurs membranes, généralement deux (système bicouche), sont superposées.

LA COUCHE SUPÉRIEURE

La couche supérieure doit résister au vieillissement dû au rayonnement solaire et aux sollicitations mécaniques et thermiques. C'est pourquoi elle est toujours armée d'un voile de polyester et le bitume utilisé est additionné de polymères qui améliorent considérablement les performances. Son épaisseur est d'au moins 4 mm. Ces bitumes sont appelés "bitumes modifiés".

Les polymères additionnés peuvent être de deux types :

- les plastomères APP qui, mélangés à raison d'environ 30 %, donnent au bitume des propriétés plastiques ;
- les élastomères SBS qui, mélangés à raison d'environ 12 %, donnent au bitume des propriétés élastiques.

LA (LES) SOUS-COUCHE(S) ÉVENTUELLE(E)

Les matériaux à base de bitume soufflé donnent de bons résultats comme sous-couche ou couche intermédiaire. Ils peuvent être armés d'un voile de verre, d'une feuille d'aluminium ou d'un voile de polyester.

LES MÉTHODES DE POSE [4]

Remarque : 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.

- Pose en indépendance avec une couche de protection lourde :

Cette technique consiste à poser une couche de désolidarisation, une sous-couche éventuelle puis une membrane de SBS ou d'APP au-dessus desquelles on pose un lestage. Elle permet d'obtenir une meilleure durabilité de l'étanchéité car elle limite considérablement les variations de températures et protège l'étanchéité contre les UV. Cependant, son prix est élevé et la localisation ainsi que la réparation des fuites sont plus difficiles.

LA MEMBRANE MONOCOUCHE

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

- Sa pose requiert une grande expérience et une formation spécialisée.
- Elle est utilisée surtout lorsqu'on souhaite un investissement minimal tout en sachant que l'entretien après quelques années risque de nécessiter de gros frais.
- Elle est utilisée lorsqu'on peut contrôler facilement l'exécution des recouvrements et pratiquer un essai d'étanchéité à l'eau en mettant la toiture sous eau.

LA MEMBRANE MULTICOUCHE

- Elle offre plus de garantie en cas d'erreur de mise en oeuvre au niveau des assemblages des lés.
- Lorsque le bâtiment doit être mis à l'abri alors qu'il n'est pas achevé, ce système permet de protéger provisoirement le bâtiment avec la première couche et de n'achever le travail par la pose de la dernière couche que lorsque le bâtiment est complètement achevé.
- Il y a moins de risques d'infiltration.
- Elle résiste mieux au poinçonnement.

SYSTÈME DE CODAGE [5]

Le codage se compose de deux lettres majuscules, complétées ou non d'une ou de plusieurs minuscules.

La première majuscule 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 (adhérence partielle) ;
- M : fixation mécanique.

La deuxième majuscule 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 minuscule indique la technique utilisée pour fixer la deuxième couche de l'étanchéité sur la sous-couche :

- s : soudage ;
- c : collage à froid.

Le codage des étanchéités bitumineuses est repris dans un tableau en Annexe 4.

RÉNOVATION [20]

L'âge, le type et l'état de l'étanchéité existante peuvent influencer la décision de la rénover et éventuellement de profiter de l'intervention pour améliorer l'isolation thermique de la toiture plate.

La durée de vie d'une membrane dépend de nombreux facteurs, notamment de :

- sa nature ;
- son épaisseur ;
- ses armatures ;
- la rigidité de son support ;
- la façon dont elle protégée des agents extérieurs ;
- la conception et la réalisation correcte du complexe isolant - étanchéité ;
- son entretien ;
- du site où elle se trouve.

Toutes les étanchéités sont garanties dix ans ; dans de bonnes conditions, la durée de vie des membranes actuelles dépasse largement ces dix ans.

Les indices de vétusté ou d'altération d'une membrane d'étanchéité sont les suivants :

- l'eau stagnante ;
- les blessures : elles sont généralement provoquées par une agression mécanique extérieure.
Dans le cas d'une toiture chaude, la perforation de la membrane entraîne la pénétration de l'eau dans la couche isolante. Si cette couche est inondable, l'eau va imprégner totalement l'isolant, entraînant une surcharge importante et l'inefficacité de l'isolation. Les dégâts provoqués par la perforation de l'étanchéité sont moindres lorsque l'isolant a été compartimenté ou lorsque l'isolant utilisé est le verre cellulaire (toiture compacte) ;
- les déchirures : elles sont dues à des tractions excessives dans le plan de la membrane. Ces tensions peuvent provenir d'un retrait du matériau, d'une instabilité thermique du support, d'une mauvaise réalisation des joints de mouvement ;
- la végétation :
 - les plantes : elles sont les plus agressives. Les graines amenées par le vent sur l'isolant avant la pose de l'étanchéité peuvent y trouver, dans certains cas, assez d'humidité pour se développer et perforer la membrane d'étanchéité ;
 - les mousses : elles se développent en général au-dessus de la membrane, dans la poussière déposée sur la membrane ou dans le lestage. Pour se développer, elles n'ont besoin que d'humidité et ne possèdent pas de racines ;
 - les algues : elles se développent uniquement dans l'eau. On les retrouve donc dans les zones de stagnation.
- l'usure de la protection UV : suite à l'action mécanique ou chimique des agents extérieurs, les couches légères de protection de l'étanchéité s'usent et finissent par ne plus remplir leur fonction. L'absence de protection peut avoir provoqué un vieillissement accéléré de la membrane ;
- les défauts des fixations mécaniques : il n'est pas possible de connaître l'état des fixations mécaniques sans effectuer un sondage. Certains indices extérieurs peuvent indiquer des désordres :
 - déchirure autour de la fixation ;
 - soulèvement du complexe étanchéité - isolant ;
 - poinçonnement de l'étanchéité par la fixation ;
 - etc. ;
- les boursoufflures : elles sont dues à l'occlusion de poches d'air humide ou de vapeur d'eau entre les différentes couches qui composent l'étanchéité. Les boursoufflures en elles-mêmes ne sont pas sources d'infiltration mais elles rendent l'étanchéité fragile aux contraintes mécaniques ;
- les plis : ils peuvent être dus à une mauvaise fixation de la membrane d'étanchéité ou à un coefficient de dilatation trop élevé du matériau constituant la membrane ;
- les fissures, craquelures, émiettements : le vieillissement de la membrane sous l'effet des rayons UV, des variations de températures, des chocs thermiques ou de l'évaporation de certains constituants se traduit par une fragilisation de celle-ci, entraînant des désordres profonds visibles en surface.

• Pose en adhérence totale :

On pose d'abord un vernis d'adhérence bitumineux sur le support puis on applique une sous-couche éventuelle et une couche supérieure en SBS ou APP.

• Pose en semi-indépendance :

Il s'agit du même principe que pour la pose en adhérence totale mais la sous-couche n'est que partiellement collée.

Le choix entre ces deux types de pose dépend principalement du support. Si les deux types sont possibles, la pose en adhérence totale offre une meilleure résistance au vent et celle en semi-indépendance permet une meilleure répartition des tensions dans l'étanchéité.

La pose en semi-indépendance est imposée lorsque l'isolant thermique est du polyuréthane PUR.

• Pose avec fixations mécaniques :

Ce système comprend une sous-couche vissée ou clouée et une couche supérieure en SBS ou APP.

L'avantage de cette technique est qu'on peut adapter le nombre de fixations suivant les zones de toitures. Les supports les plus adaptés à cette technique sont les tôles profilées en acier, le béton cellulaire et le bois.

LES MEMBRANES SYNTHÉTIQUES

Les matériaux utilisés sont également appelés "hauts polymères". Ils ont de bonnes caractéristiques mécaniques, ils résistent bien au froid, à la chaleur, aux produits chimiques et aux influences atmosphériques.

Les étanchéités synthétiques sont de deux types :

- les élastomères ;
- les plastomères.

Le tableau de la page suivante reprend les différentes membranes synthétiques et leurs principales caractéristiques.

LES FEUILLES MÉTALLIQUES

Ces feuilles sont en général en cuivre ou en zinc ; ces dernières doivent être ventilées en sous-face.

Nous renvoyons le lecteur au guide pratique "*L'isolation thermique de la toiture inclinée*" [29] dans lequel ce type de couverture a été examiné.

L'ASPHALTE COULÉ

Il s'agit d'un mélange correctement dosé de bitume et d'agrégats : sable, gravier, filler. Il est appliqué sans compactage en une couche de plusieurs centimètres.

Le mélange doit être exempt de cavités et de matériaux gélifs.

Ce type d'étanchéité constitue une bonne couche d'usure et de répartition des charges pour la circulation piétonne et automobile. Une couche de bitume polymère reste nécessaire sous cette couche d'usure.

LES TECHNOLOGIES DES TOITURES PLATES

	TYPES D'ETANCHEITE	DESCRIPTION	EPAISSEUR ET COULEUR	POSE ET ADHERENCE AU SUPPORT	JONCTION DES LES
ELASTOMERES	EPDM Copolymère d'éthylène, de propylène et de diène-monomère	Egalement appelé EPT, il est actuellement les plus utilisés des hauts-polymères élastomères sous forme de membrane.	1,2 - 1,5 et 2 mm noir ou gris	Pose en adhérence totale, en adhérence partielle ou en pose libre lestée. L'adhérence au support se fait par collage à l'aide de colle à chaud à base de bitume et d'EPDM, à l'aide de colle de contact ou à l'aide de bitume lorsque les feuilles sont dépourvues d'une couche dorsale constituée d'un voile qui sert à réaliser l'adhérence avec le bitume.	Elle se fait sur chantier à l'aide de "gumtape" et de colle. En atelier, la jonction des lés se fait par soudure à chaud et bande adhésive.
	IIR Butyle		1,5 et 2 mm noir	Pose en adhérence totale, en adhérence partielle ou en pose libre lestée. L'adhérence au support se fait par collage à l'aide de colle à chaud à base de bitume et de butyle ou à l'aide de colle de contact.	Elle se fait sur chantier à l'aide de "gumtape" et de colle. En atelier, la jonction des lés se fait par soudure à chaud et bande adhésive.
	CR Polychloroprène	Membrane en caoutchouc munie d'une couche dorsale en voile de verre destinée à améliorer l'adhérence de la colle.	1 - 1,2 - 1,5 et 2 mm noir	Pose en adhérence totale. L'adhérence au support se fait par collage à l'aide de bitume ou à l'aide de colle de contact.	Elle se fait à l'air chaud avec des bandes de soudure ou à la colle à froid.
	CSM Polyéthylène chlorosulfoné	Le CSM présente la particularité de se vulcaniser sur la toiture sous l'effet des rayons UV.	1,2 mm armature comprise gris, noir, blanc ou beige	La membrane est posée en adhérence totale ou en pose libre lestée. Elle peut aussi être fixée mécaniquement. L'adhérence au support se fait par collage à l'aide de bitume, de colle de contact ou de colle de dispersion.	Elle se fait à l'air chaud avec des bandes de soudure ou à la colle à froid.
	NBR Caoutchouc nitrile	La membrane est munie d'une couche dorsale en voile de verre.	1,1 ou 1,5 mm noir	Pose en adhérence totale ou en pose libre lestée. L'adhérence au support se fait par collage à l'aide de bitume ou de colle de contact.	Elle se fait à l'aide de colle à deux composants.
PLASTOMERES	PIB Polyisobutylène	Ces membranes sont toujours doublées sur leur face inférieure d'une armature épaisse en feutre de polyester.	1,2 mm feutre non compris noir	Pose en adhérence totale, en adhérence partielle ou en pose libre lestée. L'adhérence au support se fait par collage à l'aide de bitume ou à l'aide de colle à froid.	Elle se fait à l'aide de bandes d'étanchéité auto-adhésives et par soudure par gonflement pour les joints transversaux.
	EVA Ethylène et acétate de vinyle		1,2 mm feutre non compris blanc	Pose en adhérence totale, ou en pose libre lestée. L'adhérence au support se fait par collage à l'aide de bitume ou à l'aide de colle de contact.	Elle se fait par soudure par gonflement ou par soudure à air chaud.
	ECB Copolymère d'éthylène et bitume	Il n'y a pas d'armature. La membrane est pourvue d'une couche dorsale en voile de verre ou en polyester pour améliorer l'adhérence de la colle.	2 mm noir	La membrane est posée en adhérence totale, en adhérence partielle ou en pose libre lestée. Elle peut aussi être fixée mécaniquement. L'adhérence au support se fait par collage à l'aide de bitume. Lors de la pose, la surface de ce matériau est visqueuse ; cette caractéristique disparaît après quelques semaines.	Elle se fait par soudure à air chaud.
	CPE Polyéthylène chloré	Ce sont soit des membranes simples, soit des membranes composées de deux membranes avec ou sans armature en polyester tissé ou avec un feutre de polyester extérieur.	1,2 ou 1,5 mm gris ou noir	La membrane est posée en adhérence totale, en adhérence partielle ou en pose libre lestée. Elle peut aussi être fixée mécaniquement. L'adhérence au support se fait par collage à l'aide de bitume. Elle peut aussi se faire à la colle de contact lorsque la membrane est pourvue d'un feutre de polyester extérieur.	Elle se fait par soudure par gonflement. Lorsque la membrane est pourvue d'une armature tissée, le joint est mastiqué au moyen d'une pâte à base de CPE.
	PVC Chlorure de polyvinyle	On n'utilise que des membranes armées de fibres de verre (sans retrait) ou armée de polyester (avec faible retrait). Les feuilles sont constituées de deux couches entre lesquelles l'armature est calendrée.	1,2 ou 1,5 mm gris ou beige (plastifiant monomère) couleurs différentes sur les deux faces (plastifiant polymère)	Lorsqu'une membrane en PVC ne résiste pas au bitume, il faut poser une couche de séparation entre le PVC et les matériaux bitumineux. Elle peut être soit fixée mécaniquement, soit posée librement et lestée.	Elle se fait par soudure par gonflement ou par soudure à air chaud. Dans les deux cas, le joint est mastiqué au moyen d'une pâte en PVC.

LES PROTECTIONS

Les couches de protection assurent plusieurs rôles : protéger des rayons UV, améliorer l'aspect esthétique, réduire la température superficielle en cas d'ensoleillement.

On distingue les protections légères, des protections lourdes.

Le choix de la protection dépend essentiellement de cinq facteurs :

- le type de toiture ;
- la pente de toiture ;
- la nature de la membrane d'étanchéité ;
- la capacité portante du support ;
- l'utilisation de la toiture.

LES PROTECTIONS LÉGÈRES

Une protection légère peut se présenter sous trois formes.

- Une couche de paillettes d'ardoise : les paillettes sont uniquement appliquées sur les étanchéités bitumineuses. Elles peuvent être de couleurs différentes, les couleurs foncées étant les plus courantes. Les paillettes sont directement appliquées sur les membranes en usine.

- Une couche de peinture : elle est appliquée sur chantier. Pour éviter tout problème d'incompatibilité, il faut utiliser uniquement des peintures agréées par le fabricant des membranes.

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. La seule protection légère que l'on applique sur certaines étanchéités synthétiques sombres est une couche de peinture réfléchissante.

- Une feuille métallique : certaines membranes en bitume modifié SBS sont revêtues en usine d'une feuille de cuivre ou d'aluminium gaufré, destinée à réfléchir le rayonnement solaire. Le métal s'oxydant avec le temps, l'effet réfléchissant disparaît malheureusement au bout de quelques années.

LES PROTECTIONS LOURDES

La couche de protection lourde (gravier, dalles, asphalte coulé, béton, etc.), également appelée lestage, 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 boursoffures) ;
- sur un support incompatible (goudrons, certains enduits, certaines matières synthétiques).

- Le gravier

Le gravier peut être roulé ou concassé.

La pente de la toiture ne peut pas être supérieure à 5 % pour éviter que le gravier ne roule.

Dans les zones critiques, le lestage par gravier peut être insuffisant et doit parfois être complété par la pose d'un

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES PROTECTIONS LOURDES [5]

- Avantages :

- réduction des contraintes thermiques sur la toiture ;
- amélioration du comportement au feu ;
- excellente protection contre les 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.

AUTRES TYPES DE DALLAGE [20]

• Les dalles drainantes ou à plots intégrés

On peut également poser, sur l'étanchéité (ou sur l'isolant dans le cas d'une toiture inversée), des dalles drainantes. Il s'agit de dalles, largement rainurées en face inférieure. L'eau s'évacue par ces évidements.

La planéité de l'assise des dalles doit être particulièrement régulière puisque le réglage vertical n'est pas possible (absence de plots).

• Les dalles sur chape et les carrelages scellés

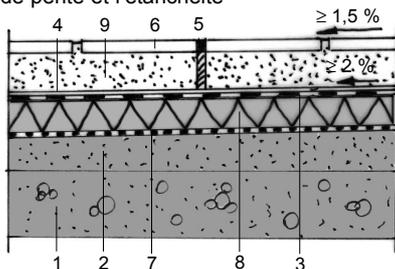
Les dalles peuvent également être posées à plein bain de mortier sur une chape armée posée en indépendance de l'étanchéité. Une couche de désolidarisation est placée entre l'étanchéité et la chape ; elle assure aussi l'écoulement de l'eau d'infiltration au niveau de l'étanchéité.

Ces dalles sur chape sont plus faciles à entretenir que les dalles sur plots, mais l'accès à la membrane est pratiquement impossible.

Un carrelage ou un dallage constitue généralement le revêtement d'une toiture-terrasse. Celle-ci se compose également :

- d'un élément porteur en encorbellement, le plus souvent en béton armé ;
- d'une couche d'égalisation ou d'une forme de pente en mortier ou en béton maigre ;
- d'une étanchéité en membranes bitumineuses ou synthétiques, placée entre deux couches de désolidarisation.

Si la terrasse se prolonge au-dessus de locaux chauffés, on intègre à l'ensemble une couche d'isolation thermique placée entre la forme de pente et l'étanchéité



- | | |
|--|--------------------------------|
| 1 : élément porteur | 5 : joint de dilatation |
| 2 : forme de pente | 6 : carrelage |
| 3 : étanchéité | 7 : écran pare-vapeur éventuel |
| 4 : couche de désolidarisation drainante | 8 : isolation thermique |
| | 9 : chape |

L'évacuation de l'eau doit être assurée non seulement au niveau du carrelage (eau de ruissellement), mais aussi et surtout au niveau de l'étanchéité (eau infiltrée par les joints du carrelage). L'eau doit être évacuée le plus rapidement possible. Il est conseillé de prévoir :

- une pente minimale de 1,5 % pour le carrelage ;
- une pente minimale de 2 % pour le revêtement d'étanchéité, de façon à éviter une accumulation de l'eau dans le mortier de pose ou la chape ;
- une couche de désolidarisation drainante située au-dessus de l'étanchéité favorisant l'écoulement de l'eau vers les points bas.

L'étanchéité doit être totalement désolidarisée, tant du support que de la sous-couche du carrelage (chape ou lit de sable stabilisé). Elle doit être complètement indépendante afin de ne pas être soumise aux déformations dimensionnelles, principalement d'origine thermique, du support et de la chape de mortier.

• Les dalles complexes isolantes

La dalle se compose d'un panneau isolant en mousse rigide de polystyrène extrudé sur lequel est ancrée une couche supérieure en béton renforcé de fibres.

En fonction de la nature et de l'épaisseur du béton, ces dalles peuvent être accessibles aux piétons ou n'être accessibles que pour l'entretien de la toiture.

Les dalles sont posées librement sur la membrane d'étanchéité, les unes contre les autres. Elles peuvent être munies de rainures et languettes.

La toiture ainsi constituée est une toiture inversée ou une toiture combinée.

dallage en béton ou en ciment.

Les graviers roulés peuvent être directement déposés sur l'étanchéité. Les graviers concassés ne peuvent être posés que sur des membranes épaisses de type bitume modifié APP ou SBS armées de voile polyester. Une couche de protection intermédiaire constituée d'une natte de polyester ou de polypropylène est conseillée sous le lestage. Cette couche est toujours nécessaire dans le cas d'une toiture inversée.

• Les dalles

Elles 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.

Un entretien régulier est nécessaire afin d'éliminer les salissures et les boues susceptibles de s'accumuler entre les dalles et l'étanchéité.

Sur une étanchéité en pente, les plots réglables permettent d'obtenir une surface de circulation horizontale favorisant un séchage rapide.

• L'asphalte coulé ou le béton monolithique

Ils sont généralement utilisés sur les toitures-parkings ou les accès de secours réservés, par exemple, aux véhicules de pompiers. De telles applications requièrent une étude particulière, étant donné les sollicitations très importantes qui en résultent.

• Les pavements sur gravillon

Des pavés en béton de petit format sont posés sur une couche de gravier de granulométrie de 5 à 8 mm. La couche de gravier a une épaisseur d'environ 3 cm.

Il doit être tenu compte du poids de la protection lourde lors du calcul de la résistance et de la flèche du support. 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 dans le tableau de la page A1-4 de l'Annexe 1. Le diamètre minimum du gravier est indiqué dans un autre tableau de la même page.

Le gravier et les dalles en pose libre rendent l'entretien, le contrôle et les réparations de l'étanchéité plus difficiles. Ils permettent également la formation de poussière et la prolifération de végétaux.

Les matériaux coulés sur place et les dalles sur chape ne permettent pas un accès à l'étanchéité sans détruire la couche de protection.