

## Le polystyrène extrudé dans les assemblages de toiture à membrane protégée

Rob Brooks<sup>(a)</sup>, Tiffany Coppock<sup>(b)</sup>, Matt Dillon<sup>(c)</sup>, Valentina Woodcraft<sup>(d)</sup>, John Woestman<sup>(e)</sup>

- (a) Rob Brooks & Associates, LLC, Eagle, Idaho, [rob@rtbrooks.com](mailto:rob@rtbrooks.com)
- (b) Owens-Corning, Toledo, Ohio, [Tiffany.Coppock@owenscorning.com](mailto:Tiffany.Coppock@owenscorning.com)
- (c) Kingspan, Atlanta, Georgia, [Matt.Dillon@kingspan.com](mailto:Matt.Dillon@kingspan.com)
- (d) DuPont de Nemours, Midland, Michigan, [valentina.a.woodcraft@dupont.com](mailto:valentina.a.woodcraft@dupont.com)
- (e) XPSA, Washington D.C., [JWoestman@kellencompany.com](mailto:JWoestman@kellencompany.com)

*Les assemblages de toiture à membrane protégée (TMP) bénéficient de plus d'un demi-siècle d'innovations et d'améliorations. Au fil du temps, les TMP ont gagné en sophistication, de nouveaux matériaux de construction ont été mis au point, tels que les membranes de toiture bitumineuses modifiées et les matériaux de toiture monocouche, et de nouvelles applications ont vu le jour telles que les assemblages de toiture végétalisée (toits verts) et les assemblages de rétention et de stockage des eaux pluviales (toits bleus). Le présent article passe en revue les avantages des TMP et examine les facteurs qui influencent la conception des isolants destinés aux assemblages de TMP. Plusieurs projets de divers niveaux de complexité ont permis de valider les spécifications d'isolation associées aux différentes zones climatiques, en examinant notamment les TMP à lestage réfléchissant, les TMP aménageables avec des éléments de toit vert et les TMP à toit bleu avec des caractéristiques de rétention d'eau.*

Dans les assemblages de toiture destinés aux platelages en béton à faible pente, les TMP fixent la barre en termes d'économies, d'efficacité de la main-d'œuvre et de durée de vie du toit, entre autres avantages. Certes, ces avantages peuvent sembler contre-intuitifs : la logique voudrait que la membrane d'étanchéité du toit soit installée sur le dessus afin de protéger des éléments de la nature toutes les autres composantes de l'ensemble, y compris l'isolant. Il reste que la principale barrière contre l'humidité (ou membrane imperméable du toit) a tendance à être elle-même le maillon faible lorsqu'elle est exposée à des stress environnementaux.

Les premiers assemblages de toiture à « membrane protégée » étaient des toitures multicouches en asphalte avec du polystyrène extrudé posé sur la couche de surface asphaltée. Cette disposition ajoutait une protection au toit. De plus, en plaçant l'isolant sur le dessus de l'asphalte, on pouvait réduire le cycle thermique de la membrane de toit.

Ces membranes ont avantage à être protégées contre les intempéries et les dommages mécaniques. Le rayonnement ultraviolet (UV) et le cycle thermique en présence d'humidité, d'oxygène et de contaminants peuvent dégrader chimiquement une membrane de toiture, ce qui peut en réduire la durée de vie utile. De plus, lorsque la membrane imperméable est placée par-dessus l'isolant, la dilatation et la contraction relatives de l'assemblage de toiture causées par les cycles thermiques peuvent nuire à la longévité du toit. Inversement, sur un toit « typique », les tempêtes de grêle et la circulation piétonne liée aux travaux d'entretien peuvent endommager mécaniquement une membrane de toit exposée. La membrane d'imperméabilisation sur le dessus

---

\*Ce bulletin inclut du contenu précédemment publié dans « Extruded Polystyrene in Protected Membrane Roof Assemblies » de John Woestman (*The Construction Specifier*, février 2022).

de l'isolant peut aussi agir comme pare-vapeur en permettant à l'humidité de s'accumuler dans et autour de l'isolant sous la membrane, ce qui entraîne un tout autre lot de problèmes.

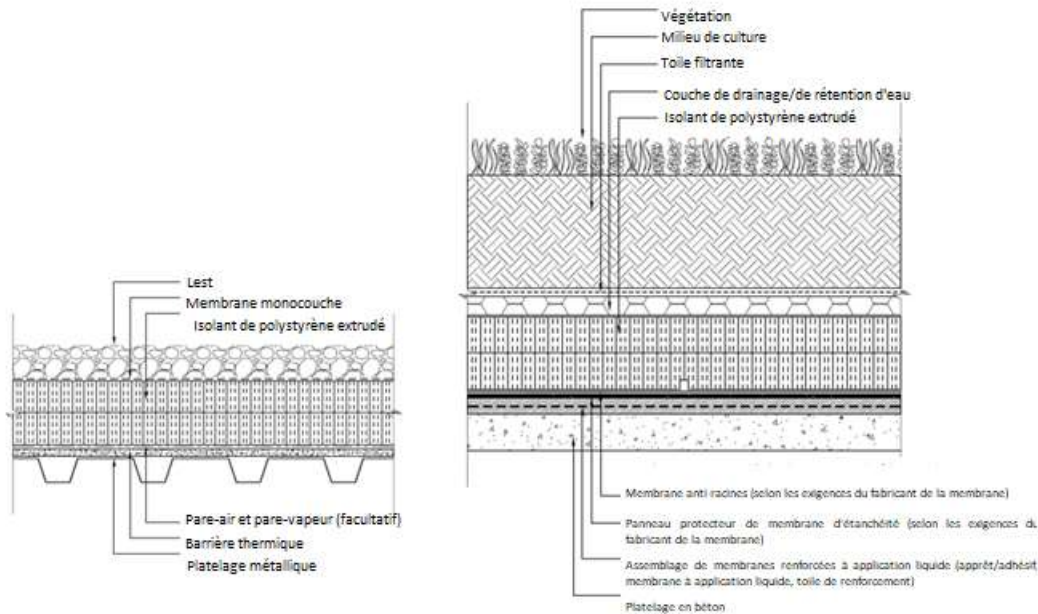


Figure 1. On désigne parfois la TMP d' « assemblage de toiture inversée », car les panneaux isolants de PSX sont placés sur la membrane de toiture. Ici, on fait la comparaison entre un assemblage de toit monocouche classique sur un platelage métallique (à gauche) et une TMP (à droite) comprenant des couches de toit végétalisées.

Cette disposition « inversée », où l'isolant est posé par-dessus la membrane d'étanchéité, peut être souhaitable puisque cette dernière peut agir comme pare-vapeur empêchant la migration de la vapeur d'eau intérieure dans l'isolant.

Pour ces raisons et bien d'autres, les assemblages de toiture à membrane protégée sont bénéfiques et souhaitables dans les constructions d'aujourd'hui.

### Changer les paradigmes dans le domaine de la toiture

L'utilisation d'assemblages de TMP a connu un essor avec la mise au point en parallèle de membranes robustes capables de supporter le poids de l'assemblage et de matériaux isolants résistants à l'eau. Les membranes bitumineuses modifiées renforcées de fibres de verre ou de polyester fournissent une couverture monolithique sans soudure qui peut durer de nombreuses décennies, surtout lorsqu'elles sont protégées contre le rayonnement UV et les perforations. Les architectes et les spécialistes de la construction ont graduellement adopté les TMP, qui consistent à installer des panneaux isolants de polystyrène extrudé (PSX) sur ces membranes de toit extrêmement durables, continues et résistantes à l'humidité.

Selon Watts dans sa publication exhaustive sur le sujet[1], dans les premières années d'existence des TMP, ces toits étaient constitués d'un isolant de PSX intégré à la couche de surface d'un toit multicouches en asphalte. Cette

technologie permettait de prolonger la durée de vie de ce type de toitures. Dans les années 1980, on savait beaucoup de choses sur la performance de ces « toitures inversées » dont la membrane d'étanchéité se trouvait sous l'isolant, et non sur celui-ci. À cette même époque, les matériaux de toiture étaient également en évolution. Les membranes de toiture bitumineuses modifiées gagnaient en popularité. C'est alors qu'une nouvelle génération de ces systèmes de toitures commerciales a fait son entrée sur le marché sous le nom d'assemblage de toiture à membrane protégée (TMP) (Figure 1).

### **Un toit polyvalent**

Au-delà de l'avantage évident d'une prolongation de la durée de vie par rapport aux systèmes de toitures commerciales traditionnelles à faible pente, les TMP offrent plusieurs autres caractéristiques et avantages attrayants. Une fois la membrane d'étanchéité installée, le bâtiment est scellé et les travaux intérieurs peuvent commencer immédiatement. Simultanément, des assemblages complexes peuvent être construits sur le bâtiment, en adaptant le toit aux besoins de la localité, comme dans les exemples suivants. (Voir Figure 2.)

1. Si l'environnement dans lequel se trouve le bâtiment agit comme un îlot de chaleur urbain, l'assemblage de toit peut être conçu de sorte à en atténuer l'effet. Pour ce faire, on peut opter pour un toit végétalisé ou paysager ou utiliser des matériaux réfléchissants pour les couches supérieures de l'assemblage du toit.
2. Si le ruissellement dû à des pluies soudaines représente un problème dans l'environnement du bâtiment, une conception de toit bleu pourrait être envisagée. Le toit lui-même peut servir de réceptacle pour la rétention d'eau.
3. Un système hybride « vert et bleu » de gestion des eaux pluviales permet de capter une partie de l'eau sur le toit et de la réutiliser comme eau non potable pour divers besoins du bâtiment, par exemple pour tirer la chasse des toilettes et arroser les pelouses. Cette conception de toit réduit la demande en eau sur le système d'aqueduc en réorientant l'utilisation de l'eau dans les régions où la conservation de l'eau est importante.
4. Les toits aménageables sont également de plus en plus populaires. Il en existe d'innombrables conceptions plus innovantes les unes que les autres. Les architectes ne sont limités que par leur imagination. Ce type de toit ouvre la porte à une variété d'applications, comme l'aménagement d'un restaurant panoramique, d'un espace pour les rassemblements sociaux ou l'agriculture urbaine, ou encore d'un terrain permettant de pratiquer des activités récréatives sur le toit. L'isolant de PSX à forte résistance à la compression rend possible les toits aménageables sans que l'on ait besoin de faire de compromis sur les performances de l'assemblage de la toiture.
5. Les panneaux photovoltaïques s'installent facilement sur les bâtiments munis d'une TMP. Les composantes structurales au-dessus de la membrane d'étanchéité fournissent une base pour le cadre qui supporte l'assemblage de toiture solaire. Les pénétrations de la membrane et du platelage peuvent être évitées en utilisant une TMP comme base solide pour les panneaux photovoltaïques.



Figure 2. Le Dickies Arena à Fort Worth, au Texas, présente des événements de rodéo. Encerclant partiellement le bâtiment, le Plaza Deck est une TMP surmontée de passerelles et d'un toit végétalisé. D'une superficie de 9 290 m<sup>2</sup>, il sert de zone de pratique où les dresseurs peuvent s'échauffer avec leurs animaux avant les épreuves. Photo reproduite avec l'aimable autorisation de Trail Drive Management Corp et d'Owens-Corning.

Les TMP doivent être soigneusement conçues pour prendre en compte les charges permanentes et les surcharges sur l'isolant. Les rédacteurs de spécifications doivent tenir compte de la flottabilité de l'isolant. (L'isolant de PSX flotte très bien dans l'eau.) Néanmoins, une TMP bien conçue donne un toit polyvalent, offrant de nombreux avantages à un propriétaire de bâtiment. Les conceptions de TMP s'améliorent sans cesse et sont de plus en plus populaires.

### Utilisation de l'isolant de PSX dans les TMP

La TMP la plus simple consiste en : (1) une membrane d'étanchéité installée sur un platelage en béton ou un autre substrat approuvé, (2) des panneaux isolants de PSX posés sur la membrane, et (3) un lest installé sur les panneaux isolants de PSX. (Voir la Figure 3.) L'isolant dans les assemblages de toit assure une efficacité énergétique à long terme et résiste à la charge structurale appliquée. Un assemblage de toit correctement spécifié résiste aux forces de compression des charges permanentes et des surcharges potentielles, et est conforme aux exigences de classification de résistance au feu spécifiques à la membrane d'imperméabilisation de la toiture et à l'assemblage. En plus de ces exigences, l'isolant dans une TMP doit fournir une performance thermique en cas d'exposition à l'humidité attribuable à Mère Nature. Divers matériaux isolants pourraient répondre aux exigences de performance pour les assemblages de toiture commerciaux, mais le PSX est particulièrement indiqué pour les applications de TMP parce qu'il offre une performance thermique à long terme même lorsqu'il est exposé à l'humidité.

Le lest peut être constitué de pavés en béton, de granulats ou même de milieux de culture dans le cas d'un toit végétalisé. Selon le type de lest utilisé, une toile ou d'autres composantes peuvent être installées entre l'isolant et le lest. Des couches spécialement conçues peuvent également être nécessaires entre l'isolant et la membrane pour assurer une séparation nécessaire au drainage ainsi qu'une protection spécialisée (comme des membranes anti-racines sur les toits végétalisés).



*Figure 3. Une TMP de base se compose d'une membrane d'imperméabilisation, d'un isolant de PSX, d'une toile et d'un granulat de lestage. Cette TMP a été installée sur un édifice fédéral situé à Winchester, en Virginie. Le distributeur était Carlisle Coatings & Waterproofing. L'installateur, Kalkreuth Roofing & Sheet Metal. Photo reproduite avec l'aimable autorisation de Kingspan.*

La spécification des panneaux isolants constitue un élément clé de la conception d'une TMP. Depuis l'avènement des membranes protégées dans les années 1950, le PSX s'est démarqué comme solution particulièrement bien adaptée à cette application. La membrane d'imperméabilisation du toit est bien sûr protégée par les panneaux isolants et non l'inverse; les panneaux isolants sont donc exposés à l'humidité. Ils deviennent humides et ne sèchent pas rapidement parce que l'eau s'accumule généralement juste au-dessus de la membrane du toit avant qu'elle ne soit drainée. L'évaporation de l'humidité du toit est ralentie, car la couche isolante bloque la lumière du soleil et abaisse la température de la membrane.

Au cours du demi-siècle qui s'est écoulé depuis que les TMP ont été mises au point, la résistance supérieure à l'humidité du PSX a été bien documentée. Il s'agit d'un matériau hydrophobe, ce qui signifie que l'eau perle et s'écoule de sa surface. Le PSX résiste beaucoup mieux à l'absorption d'humidité que les mousses de polystyrène expansé (PSE). Un document de présentation technique récemment publié par l'Extruded Polystyrene Association (XPSA) analyse les effets d'une exposition à l'humidité à long terme sur la performance thermique de l'isolant de polystyrène. [2] La microstructure continue du PSX résiste à l'absorption d'eau dans l'isolant. [3-4] Par conséquent, le PSX est plus résistant à la pénétration d'humidité et aux dommages liés au gel-dégel comparativement aux autres matériaux isolants. Les autres types d'isolants présenteraient des facteurs de correction de la valeur R et des facteurs d'épaisseur beaucoup plus élevés. C'est pourquoi le PSX est l'isolant à privilégier pour les TMP.

Une donnée très intéressante à considérer lorsqu'on conçoit un toit est la valeur R totale requise selon la zone climatique, qui vient dicter l'épaisseur de PSX requise. Pour plus d'informations sur les zones climatiques, consulter le Code national du bâtiment – Canada, la norme ASHRAE 90.1 [5] et le code IECC [6]. (Voir le Tableau 1.) Le PSX présente une valeur R par pouce élevée de RSI 0,87 / 25mm (R -5,0 / po), ainsi qu'une excellente résistance à l'humidité.

Le choix du « type » de PSX pour les assemblages de TMP repose sur la résistance à la compression requise pour les charges prévues sur le toit. Ces charges permanentes et surcharges peuvent comprendre l'équipement auxiliaire et la végétation, ainsi que la circulation piétonne et motorisée. Le PSX est classé selon les normes ASTM



C578 [7] et CAN/ULC-S701.1 [8] en types par propriété physique, notamment la résistance minimale à la compression. Les concepteurs de systèmes de TMP spécifient un ou de(s) type(s) de PSX qui présentent une résistance à la compression suffisamment élevée pour résister aux charges prévues.

Tableau 1. Descriptions des zones climatiques.	
	ASHRAE 90.1, IECC et Code canadien de l'énergie - bâtiments
Subarctique	Zone 8
Très froid	Zone 7 A/B
Froid	Zone 6
Fraîche	Zone 5
Mixte	Zone 4
Moyennement chaud	Zone 3
Chaud	Zone 2
Très chaud	Zone 1
Extrêmement chaud	Zone 0

Légende : Les zones climatiques sont notamment utilisées pour déterminer les exigences d'isolation selon la norme ASHRAE 40.1, le code IECC et le code canadien de l'énergie - bâtiment

Les propriétés des isolants de PSX peuvent varier en fonction de leur procédé de fabrication. En variant l'épaisseur de la paroi qui sépare les alvéoles internes les unes des autres, on peut faire varier considérablement la densité et la résistance de la mousse de PSX. Il est intéressant de noter que pour de nombreux types d'isolants de PSX, l'absorption d'humidité et la valeur R par pouce ne diffèrent pas beaucoup entre les types de la norme ASTM. Par exemple, les types IV, V, VI et VII de l'ASTM C578 ont tous la même valeur R par pouce minimale et la même faible valeur d'absorption d'humidité. Pourtant, leurs densités et valeurs de résistance varient largement.

La norme américaine ASTM C578 classe les isolants de mousse polystyrène PSX en certains types et exige des densités, en kg/m<sup>3</sup> (lb/pi<sup>3</sup>) minimums mesurées selon la norme ASTM C303 [12] et résistance en compression, en kPa (lb/po<sup>2</sup>) minimums mesurée par la norme ASTM D1621 [13] :

ASTM C578 Type	densité	résistance en compression
Type IV	23 (1,45)	175 (25)
Type VI	29 (1,80)	275 (40)
Type VII	35 (2,20)	415 (60)
Type V	48 (3,00)	690 (100)

La norme canadienne pour les isolants de PSX, CAN/ULC S701.1 par contre n'exige pas des densités minimums pour des isolants PSX possédant les résistances en compression tel qu'énoncées dans la norme ASTM C578. Les isolants de PSX selon la norme canadienne sont tous rassemblés sous le Type 4 de cette norme. Les isolants de PSX de Type 4 doivent posséder une résistance en compression minimale de 210 kPa (30 lb/po<sup>2</sup>). La norme canadienne ne classe pas les isolants PSX en 4 types différents selon leur résistance en compression

En règle générale, une densité plus élevée est en corrélation directe avec une résistance plus élevée dans un panneau isolant de PSX. Les types VII et V selon la norme ASTM C578 et les Type 4 avec résistances en compression élevés selon la norme CAN/ULC S701.1 conviennent aux applications où les charges ponctuelles peuvent être élevées, comme celles intégrant des pavés surélevés ou un réseau photovoltaïque ou même aux charges élevées telles que celles produites par des véhicules stationnés sur le toit du bâtiment.

Les isolants de PSX de types IV, VI, VII ou V selon la norme ASTM C578 et ceux de Type 4 selon la norme CAN/ULC S701.1 conviennent à une TMP lestée typique. Il pourrait être nécessaire de prévoir du lest ou des fixations de lest supplémentaires pour les zones à fort vent et pour obtenir une résistance à la compression plus élevée. Le Code international du bâtiment (CIB) exige que la conception des lests soit conforme à la norme ANSI/SPRI RP-4 [11].

La classification de résistance au feu d'un ensemble de toiture est un facteur très important à prendre en compte. Une discussion sur cette classification déborderait toutefois du cadre du présent article. Les rédacteurs de spécifications doivent consulter les normes ASTM E108 [13], UL790 [14] ou CAN/ULC S-107 pour plus d'informations sur la classification de la résistance au feu.

**Un drainage efficace améliore la résistance thermique globale d'une TMP. Une eau qui reste accumulée entre l'isolant et la membrane sur de longues périodes peut contribuer à l'absorption d'humidité, ce qui, même pour du PSX, nécessite des ajustements de la valeur R. C'est entre autres pourquoi les systèmes de drainage sont parfois utilisés même si la plus grande portion (> 90%) du drainage se fait à la surface supérieure de l'isolant de la TMP. En plus, le drainage entre la membrane et l'isolant peut occasionner des pertes d'énergies considérables si le débit est élevé. Ces pertes d'énergie sont typiquement minimes pour une TMP correctement installée avec multiple couches d'isolant.**

De nombreux facteurs sont à considérer dans la conception d'une TMP : la performance structurelle, la résistance au soulèvement sous l'action du vent, les moyens d'évacuation des toits aménageables et d'autres facteurs. Heureusement, des gains importants ont été réalisés ces dernières années en termes de connaissances et d'expérience, et de plus en plus d'entrepreneurs et de fournisseurs de matériaux de construction sont dorénavant au fait des normes et des meilleures pratiques en la matière.

Des lignes directrices sur les TMP ont été élaborées et publiées, et les connaissances continuent d'évoluer dans ce domaine. Les architectes ou concepteurs intéressés sont invités à communiquer avec un ou plusieurs fabricants de PSX pour des recommandations sur la façon de concevoir une TMP qui procure un maximum de durabilité et de rendement.

### **Résistance thermique et intégrité structurelle**

Les rédacteurs de devis doivent connaître la fonction de chaque composante de la TMP et posséder une connaissance accrue des propriétés de chacune de ces composantes.

1. Sous l'isolant, la membrane d'imperméabilisation du toit installée sur le platelage et un système de drainage approprié permettent de réguler la rétention d'eau.
2. L'isolant lui-même est suffisamment épais pour fournir la résistance thermique souhaitée.

3. Au-dessus de l'isolant, le lest maintient en place le PSX, qui doit être suffisamment solide pour résister au poids du lest ainsi qu'à des charges variables telles que les précipitations et la circulation piétonne ou motorisée.

Le PSX flotte sur l'eau. Si plusieurs pouces d'eau s'accumulent sur le toit à la suite d'une averse soudaine, les règles hydrostatiques exigent que le poids du volume d'eau déplacée soit contrebalancé avec au moins le même poids de lest. Ces mêmes règles permettent d'établir la quantité de lest nécessaire pour empêcher le PSX de flotter. Le lest fournit une résistance au soulèvement pour les assemblages de toit qui ne sont pas collés ni fixés mécaniquement au platelage. Cependant, la flottabilité n'est pas le seul facteur à considérer pour déterminer la quantité de lest exigée. La TMP doit répondre aux normes relatives à la résistance au soulèvement sous l'action du vent. La hauteur du mur de parapet entourant la TMP a un effet considérable sur le soulèvement sous l'action du vent. Pour un exposé détaillé sur les exigences de conception des lests, consulter la norme ANSI/SPRI RP-4 [11] et les fabricants de PSX qui ont élaboré des directives pour le lest [12].

### **Exemples d'applications de TMP**

Les exemples suivants mettent en lumière des solutions où l'isolant de PSX remplit les exigences de rendement en termes de résistance thermique et d'intégrité structurelle; ils se concentrent principalement sur la couche d'isolant pour les assemblages de TMP.

Ces exemples fournissent des lignes directrices générales pour la spécification de divers types de TMP. Cependant, les détails peuvent varier d'un projet à l'autre et pour différentes sections du toit d'un même bâtiment. On recommande aux rédacteurs de spécifications de travailler en étroite collaboration avec les fournisseurs d'isolant de PSX ainsi qu'avec les autres fournisseurs de composants.

#### ***Exemple 1 : TMP avec granulats solaires réfléchissants***

Le premier exemple concerne un assemblage de TMP lestée au-dessus d'un platelage en béton avec une couche supérieure de lest constituée de granulats à réflectivité solaire élevée. Cette TMP a été installée sur un édifice fédéral situé à Winchester, en Virginie, où le climat est chaud et humide (ASHRAE 90.1 Zone 4a). La superficie du toit est de 19 264 m<sup>2</sup> (207 360 pi<sup>2</sup>). (Voir Figure 3.)

Une valeur R de 5,28 K·m<sup>2</sup>/W, ou R-30 (30 F·pi<sup>2</sup>·h/Btu) a été obtenue en utilisant 15,24 cm (6 po) de PSX de type VI. La résistance à la compression de 40 lb/po<sup>2</sup> était adéquate pour la charge relativement faible de cette TMP grâce à un drainage adéquat. La couche inférieure du panneau isolant de PSX elle-même comportait des canaux de drainage facilitant l'évacuation de l'eau à travers un système de drainage.

Une toile posée par-dessus les six pouces de PSX sépare le PSX du granulats et aide à empêcher le déplacement de l'isolant. (Figures 4 et 5) La seule chose qui retient l'isolant de PSX est le granulats de lestage. Par conséquent, l'installation se fait par étapes, l'isolant étant recouvert d'une toile, puis de granulats peu de temps après sa pose sur la membrane d'imperméabilisation.

L'isolant et le lest réfléchissant réduisent considérablement la charge thermique sur ce bâtiment. Cette solution est respectueuse de l'environnement, puisque la TMP non seulement prolonge la durée de vie de la membrane sous-jacente en la protégeant des rayons UV et des températures élevées, mais elle permet aussi d'économiser sur les coûts d'énergie pour refroidir le bâtiment qui est situé dans un climat chaud et humide.

#### ***Exemple 2 : Grande terrasse multifonctionnelle sur TMP***



Un autre exemple de TMP est le Dickies Arena Plaza Deck à Fort Worth, au Texas. Le bâtiment est situé dans le nord du Texas, une région qui jouit d'un climat subtropical humide avec des hivers doux et des étés chauds (ASHRAE 90.1 Zone 3a).



Figure 4. Le PSX de type VI avec une résistance à la compression de 40 lb/po<sup>2</sup> était adéquat pour la charge relativement légère sur cette TMP. Photo reproduite avec l'aimable autorisation de Kingspan.



Figure 5. On recouvre la TMP de granulat peu de temps après l'installation d'une toile sur les panneaux d'isolant de PSX. Le granulat maintient non seulement l'isolant en place, mais reflète également la lumière du soleil de cette TMP, qui se trouve dans une zone où le climat est chaud et humide. Photo reproduite avec l'aimable autorisation de Kingspan.

Le Plaza Deck est construit au-dessus d'une dalle de béton d'une superficie de 13 006 m<sup>2</sup> (140 000 pi<sup>2</sup>). Le platelage de toit en béton est recouvert d'une membrane imperméabilisante appliquée à chaud. On a installé 261 drains au niveau du platelage, directement sous l'isolant de PSX.

Le Plaza Deck supporte le poids des pavés, qui servent de lest et de surfaces de marche; des dalles de revêtement en béton, plus précisément des dalles qui se chevauchent; de la circulation piétonne et de l'ameublement; et, dans certaines zones, des assemblages de toiture végétalisée. Différents types de PSX conviennent aux différentes exigences de charges permanentes et de surcharges. Le PSX de type V est utilisé dans les endroits qui nécessitent les résistances à la compression les plus élevées. Le Type V selon la norme ASTM C578 fournit une résistance à la compression minimale de 690 kPa (100 lb/po<sup>2</sup>).

Au sommet du platelage structurel incliné, un isolant à biseautage inversé procure une surface plate; on trouve ensuite environ un pied d'isolant plat; et enfin une troisième rangée d'isolant biseauté, incliné vers les drains linéaires au sommet de la surface esthétique, vient compléter l'épaisseur d'isolant. (Voir la Figure 6.) L'utilisation de l'isolant pour contrôler les hauteurs au lieu d'autres remblais tels que le béton réduit le poids sur l'ensemble du toit.

Les couches au-dessus de l'isolant conviennent aux différentes exigences esthétiques et fonctionnelles du Plaza Deck. Il y a des couches de toile filtrante, un lit de sable, des pavés et des jardinières contenant des arbres. Le Plaza Deck est ouvert aux visiteurs qui souhaitent profiter des fraîches soirées à l'extérieur lors des événements à l'aréna. Et lorsqu'il y a une averse, le platelage est soigneusement conçu pour drainer efficacement l'eau de pluie de cette TMP.

Le Dickies Arena représente un excellent exemple d'application mixte de TMP permettant la circulation piétonne et la présence de végétation sur un toit plat aménageable avec un bon drainage [14].



Figure 6. Des drains à fente canalisent l'eau vers un assemblage élaboré de 261 drains (à gauche). L'isolant de PSX biseauté remplit l'espace entre la membrane du toit et les drains à fente. Le drainage linéaire final prouve à quel point un drainage bien planifié peut se faire discret (à droite). Photographies reproduites avec l'aimable autorisation d'Owens Corning.

### **Exemple 3 : Jardins sur TMP et caractéristiques de rétention et de stockage d'eau (toit bleu)**

Le dernier exemple est la conception d'un toit bleu dans une zone urbaine où la rétention d'eau est essentielle. (Voir la Figure 7.) Conçu par Perkins + Will, le projet de toit bleu de l'Université Northwestern (Chicago, Ill.) repose sur une construction par étapes : le bâtiment de base de 14 étages a été érigé en premier, et une tour de 20 étages est prévue dans les cinq à dix années à venir. Les conditions du site exigeaient une approche de gestion des eaux pluviales plus créative que les options conventionnelles sous le niveau du sol.

Le Département de la gestion des eaux pluviales de la ville de Chicago a exigé que le projet tienne compte *de la masse et de la superficie totales du bâtiment* et d'une exigence de rétention substantielle de *10 000 pieds cubes* d'eaux pluviales. Les volumes de rétention sont différents des volumes de stockage. La rétention se produit dans les milieux de culture des toits-jardins où l'eau est *retenue* jusqu'à ce qu'elle soit utilisée par les plantes ou qu'elle s'évapore. Dans un toit bleu, le stockage se produit quand l'eau est *retenue* pendant une période spécifique jusqu'à ce qu'elle soit entièrement libérée pour intégrer les égouts pluviaux. Cela évite d'inonder le système d'égouts. Le code relatif aux eaux pluviales de la ville de Chicago exigeait que ce volume d'eaux pluviales soit libéré par les drains de contrôle de débit en l'espace de 48 heures.

La principale exigence de rétention des eaux pluviales a été satisfaite grâce à la création de deux assemblages de toit bleu sur l'ensemble des structures de toit des niveaux 13 et 14. Ces zones de toit bleu ont été créées à l'aide d'unités de vides structurales qui ont ensuite été recouvertes de jardins et d'assemblages de pavés pour une capacité de rétention et un lestage approprié. Un assemblage de toit-jardin conventionnel a été utilisé au



deuxième étage. La combinaison de toits-jardins à tous les niveaux a réduit l'exigence globale de stockage requise par la ville de Chicago.

Pour retenir le volume d'eau du toit bleu, les drains de toit ont été modifiés au moyen d'une pièce spéciale qui régule passivement le drainage des eaux pluviales. Les espaces volumétriques du toit bleu ont été créés à l'aide d'une composante de vide structurel en plastique qui est ouverte à 95 %. (Voir la Figure 8.) Pour optimiser le stockage du toit bleu, les toits de ce bâtiment ont été construits avec des platelages plats à pente nulle. Ces derniers ont été imperméabilisés à l'aide d'une membrane d'asphalte caoutchoutée appliquée à chaud et isolée avec sept pouces d'isolant de PSX de type VI selon la norme ASTM C578. La capacité de l'isolant de PSX à résister aux conditions humides dans un toit bleu et un toit vert en fait le choix idéal pour l'isolation thermique.

*Figure 7. Voici les 14 premiers étages d'un bâtiment proposé de 34 étages dans le centre-ville de Chicago. Les architectes ont spécialement conçu un toit bleu sur TMP pour répondre aux exigences de rétention et de stockage d'eau de leur permis de construction. La base de 14 étages répond aux exigences de gestion des eaux pluviales pour l'ensemble du bâtiment grâce à la conception de TMP bleues et vertes (végétalisées). Photo reproduite avec l'aimable autorisation d'American Hydrotech.*





Figure 8. La clé de ce toit bleu est une robuste unité de stockage d'eau située au-dessus de l'isolant de PSX, juste en dessous de l'assemblage de toit végétalisé. Photos reproduites avec l'aimable autorisation d'American Hydrotech.

### Solutions polyvalentes

Comme le montrent les exemples ci-dessus, les TMP peuvent être conçues en fonction des besoins découlant de l'environnement du bâtiment, soit pour drainer l'eau rapidement, comme dans le cas du Dickies Arena, ou pour retenir l'eau et la libérer graduellement, comme dans le cas du toit bleu de l'Université Northwestern. Une TMP peut également être conçue avec un système de drainage conventionnel au niveau de la membrane d'imperméabilisation du toit, comme dans le cas de l'immeuble fédéral dont la membrane est recouverte de granulats.

Un autre avantage rarement reconnu des TMP est la réduction de l'envoi de matières à l'enfouissement. La durée de vie moyenne d'une TMP est de 25 à 50 ans, et l'isolant de PSX de ces toits peut être, et est souvent, réutilisé lorsque le toit a atteint sa durée de vie utile. Les remplacements de toiture sont responsables de milliards de verges cubes de matières envoyées dans les sites d'enfouissement chaque année. Au cours de la durée de vie du bâtiment, les TMP représentent la meilleure solution, autant pour le propriétaire que pour l'environnement.

Les TMP offrent une base pour une variété d'assemblages de toitures commerciales et urbano-résidentielles, notamment les toitures réfléchissantes et photovoltaïques, qui contribuent à l'efficacité énergétique, au prolongement du cycle de vie des toitures et à la santé urbaine avec des assemblages de toitures végétalisées. Les TMP conviennent aux solutions de rétention des eaux pluviales, en atténuant les inondations dans les zones urbaines et en contribuant à la conservation de l'eau. Elles permettent également de convertir de précieux espaces extérieurs en espaces aménageables.

## Références

- [1] Mike Watts, « PMR Systems : The Forgotten Solution », *RCI Interface*, mai 2000, p. 4-7.  
<https://iibec.org/wp-content/uploads/2016/03/2000-05-watts.pdf>
- [2] Rob Brooks, *et al.* « Extruded Polystyrene Delivers Higher R-Values than Expanded Polystyrene in Below-Grade Application », XPS Insulation Performance, Below Grade Series, ID : IP-BG-01
- [3] John Woestman, « XPS Delivers High R-Values in Below-grade Applications », *The Construction Specifier*, août 2020  
[https://xpsa.com/wp-content/uploads/2020/05/XPSA-IP-BG-01\\_Nov.8.2019\\_Preprint.pdf](https://xpsa.com/wp-content/uploads/2020/05/XPSA-IP-BG-01_Nov.8.2019_Preprint.pdf)
- [4] John Woestman, « Moisture Absorption in Polystyrene Insulation: Effects on In-Service Design R-Values », *IIBEC Interface*, novembre 2020.  
<https://xpsa.com/wp-content/uploads/2020/11/2020-11-Woestman.pdf>
- [5] ASHRAE STANDARD 90.1-2019 Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings  
<https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1>
- [6] International Code Council. « International Energy Conservation Code. ». <https://www.iccsafe.org/products-and-services/i-codes/code-development/iecc-2024-and-beyond/>  
CC (Climate Zones]
- [7] ASTM C578 – 19, Standard Specification for Rigid, Cellular Polystyrene Thermal Insulation  
<https://www.astm.org/Standards/C578.htm>
- [8] CAN/ULC S701.1 Norme sur l'isolant thermique de polystyrène 2017.  
<https://www.scc.ca/fr/standardsdb/standards/28922>
- [9] ASTM C303 - 21 Standard Test Method for Dimensions and Density of Preformed Block and Board-Type Thermal Insulation  
<https://www.astm.org/Standards/C578.htm>
- [10] ASTM D1621 - 16  
Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Cellular Plastics  
<https://www.astm.org/Standards/D1621>
- [11] Ballast ANSI/SPRI RP-4 Wind Design Standard for Ballasted Single-Ply Roofing Systems.  
[https://www.spri.org/wpfb-file/ansi\\_spri\\_rp-4-wind-design-standard-for-ballasted-single-ply-roofing-systems\\_corrected-pdf/](https://www.spri.org/wpfb-file/ansi_spri_rp-4-wind-design-standard-for-ballasted-single-ply-roofing-systems_corrected-pdf/)
- [12] DuPont de Nemours Tech Solutions 508.3 Ballast Design Guide for PMR Systems



[13] ASTM E108: Standard Test Methods for Fire Tests of Roof Coverings  
<https://www.astm.org/Standards/C578.htm>

[14] UL790 Standard for Standard Test Methods for Fire Tests of Roof Coverings  
<https://standardscatalog.ul.com/ProductDetail.aspx?productId=UL790>

[15] Tiffany Coppock, « XPS + building science = Three high performance roofs », *The Construction Specifier*, novembre 2020.  
<https://www.constructionspecifier.com/xps-construction-science-three-high-performing-roofs/3/>