

La mousse de polyuréthane formée *in situ*, dans les bâtiments

par M.T. Bomberg et M.K. Kumaran

Cet article, qui traite de la mousse de polyuréthane pistolée utilisée comme isolant dans les bâtiments, montre comment ses caractéristiques influent sur sa performance.

La mousse de polyuréthane pistolée (MPP), qui date d'une quarantaine d'années, est utilisée couramment dans l'industrie de la construction. Elle n'est pas aussi répandue que les panneaux préfabriqués, mais elle possède des caractéristiques qui peuvent se révéler intéressantes dans certains cas. Par exemple, elle adhère bien aux surfaces sèches et propres, et elle épouse facilement les formes complexes. Elle est efficace sur le

plan thermique et peut être appliquée en épaisseurs variables de manière à assurer la résistance thermique recherchée. La mousse de polyuréthane, en particulier les produits de masse volumique moyenne (MVM) ou grande (GMV), forme aussi des pare-air efficaces. Le fait qu'elle soit offerte en différentes masses volumiques permet d'accroître au besoin la résistance mécanique, par exemple à la compression et au choc.

La MPP n'est pas utilisée seulement dans les bâtiments. Elle sert aussi : à isoler les réservoirs de stockage, ainsi que les conduits et la tuyauterie dans les installations de chauffage centralisé; à assurer une grande résistance d'adhésion lors des opérations de renouvellement des canalisations d'égout; à consolider les strates, dans l'exploitation minière.

En dépit de la popularité dont jouissent ces mousses depuis nombre d'années, certaines questions ayant trait à leur performance sont restées sans réponse.

- 1) Pourquoi perdent-elles de leur résistance thermique?
- 2) Comment assurent-elles la migration de la vapeur d'eau lorsqu'elles sont utilisées comme pare-vapeur conformément au Code national du bâtiment?

Cet article fait état des résultats des recherches qu'a accomplies l'Institut de recherche en construction du CNRC, en collaboration avec l'Association canadienne de l'industrie des plastiques, pour aider à répondre à ces questions.

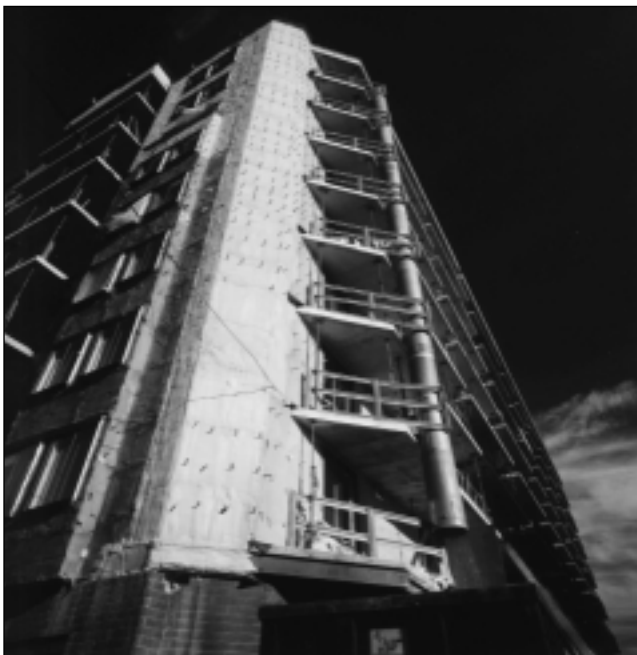


Figure 1. Mousse de polyuréthane pistolée faisant fonction d'isolant, dans un immeuble

Types de mousses de polyuréthane formées in situ

La mousse à projeter typique comprend un polyisocyanate et un composé polyhydroxylé. Ce dernier contient des agents gonflants, qui provoquent l'expansion de la mousse, et d'autres additifs tels des stabilisants, qui empêchent sa dégradation. Les deux produits sont pompés séparément et projetés à l'aide d'un pistolet. Selon la réactivité et le mécanisme d'alimentation, le matériau peut être, à la sortie du pistolet :

- liquide
- sous forme de gouttelettes liquides
- sous forme de mousse (gouttelettes contenant des bulles gazeuses)

Les produits à mousse sont habituellement appliqués directement sur la surface à isoler ou étanchéiser.

Il existe aussi des mousses monocomposant durcissant à l'humidité (souvent appelées « mastics polymériques »). Dans ce cas, la mousse chemine, sous la poussée d'un gaz, dans un tube de plastique qui permet de déposer le mastic à l'endroit voulu.

Les mousses de polyuréthane se classent selon leur résistance en compression. Le tableau 1 indique la masse volumique approximative de la MPP, au niveau de l'âme, qui est susceptible d'assurer la résistance souhaitée pour diverses utilisations.

Les mousses de très grande (TGMV) et de grande masses volumiques servent surtout d'isolants thermiques pour les toits, l'épaisseur minimum préconisée étant de 40 mm (1,5 po). Elles sont suffisamment résistantes et durables, dans des conditions typiques de service. Pour savoir laquelle choisir (TGMV ou GMV), il faut se baser sur le

genre de climat (par exemple les températures extrêmes) et sur les conditions de circulation sur la couverture qui sont prévues.

La mousse à masse volumique moyenne est utilisée dans les travaux de maçonnerie et dans les constructions à ossature de bois. Elle est alors protégée des éléments, mais elle doit néanmoins résister à une partie ou à la totalité de la surcharge due au vent ainsi qu'aux mouvements structuraux.

Lorsqu'on s'attend que ces charges seront peu importantes, on peut se servir du type faible masse volumique (FMV). Celui-ci, qui est plus perméable à la vapeur que la mousse à MVM, ne remplit pas les conditions requises pour agir comme pare-vapeur.

Pour être de bonne qualité, une mousse d'étanchéité appliquée en cordon (MEC) doit posséder les caractéristiques suivantes :

- masse volumique comprise entre 27 kg/m³ et 50 kg/m³
- pourcentage de cellules fermées variant entre 60 et 90
- résistance à la compression comprise entre 40 et 80 kPa.

Certaines mousses d'étanchéité offertes sur le marché ont une masse volumique aussi faible que 16 kg/m³ et leur tenue mécanique n'est pas indiquée.

Le processus de vieillissement des mousses

Le mélange des constituants, lors de la projection, provoque une réaction exothermique (dégageant de la chaleur) qui amène le gonflant au point d'ébullition. En prenant de l'expansion, le gaz forme de petites bulles emprisonnées dans la matrice du polymère.

Tableau 1. Résistance à la compression minimale et masse volumique approximative de l'âme de MPP pour diverses utilisations

Type de MPP	Usage principal	Résistance à la compression, kPa (lb/po ²)	Masse volumique de l'âme, kg/m ³ (lb/pi ³)
TGMV – Très grande masse volumique	isolant thermique de toit	380 (55)	56 (3,5)
GMV – Grande masse volumique	isolant thermique de toit	280 (40)	45 (2,8)
MVM – Masse volumique moyenne	isolant thermique de mur	170 (25)	37 (2,3)
FMV – Faible masse volumique - appliquée à la machine - récipient sous pression	isolant thermique de mur	100 (15) 100 (15)	20 (1,3) 27 (1,7)
MEC – Mousse d'étanchéité appliquée en cordon	étanchéité à l'air	35 (5)	16 (1,0)
MCO – Mousse à cellules ouvertes	étanchéité à l'air	s/o	8 (0,5)

Il faut alors laisser réticuler (durcir) le polymère pour que la mousse se tienne.

Lorsque la mousse refroidit, la pression du gaz dans les cellules tombe sous la pression atmosphérique. Elle est réduite davantage sous l'effet de l'absorption d'une partie du gonflant par la matrice du polymère. L'air ambiant pénètre ainsi dans la mousse, ce qui rétablit rapidement la pression atmosphérique à la surface de la mousse. Cependant, la migration d'air entre la surface et l'intérieur de la mousse se fait plus lentement, ce qui y provoque un écart de pression, celle-ci étant plus grande dans les cellules qui se trouvent à la surface que dans les autres.

La pénétration graduelle de l'air dans les cellules dilue le gaz qui y reste – lequel possède une résistance thermique plus grande que l'air. Elle occasionne une perte progressive de résistance thermique de la mousse – phénomène appelé « dérive thermique » ou « vieillissement de la mousse ». Les autres facteurs qui influent sur la résistance thermique de ce type de mousse sont : l'absorption d'une partie du gonflant par la matrice et la perte de gonflant par migration.

On peut expliquer le processus de vieillissement au moyen d'un modèle informatique mis au point par l'IRC¹. La figure 2 fait voir l'effet du vieillissement sur la MPP. La courbe 1 montre qu'un échantillon de mousse de polyuréthane de 25 mm d'épaisseur complètement encapsulé (toutes les surfaces sont recouvertes d'une

couche d'époxyde) n'est pas soumis au vieillissement. L'encapsulation empêche l'air d'entrer dans la mousse, mais il n'a pas d'effet sur le mouvement interne (la redistribution) du gonflant. Malgré la variation de pression due à l'absorption d'une partie du gonflant par la matrice, la performance thermique est restée la même, dans l'étude réalisée par l'IRC.

La courbe 2 fait voir le vieillissement de l'échantillon de mousse de polyuréthane lorsqu'on laisse entrer l'air. La redistribution du gonflant n'est pas prise en compte, dans le cas de cette phase. La courbe 3 illustre le cas précédent ainsi que l'effet qu'a sur le processus de vieillissement l'absorption du gonflant par la matrice du polymère. Quant à la courbe 4, elle illustre le cas précédent de même que l'effet de la migration du gonflant vers l'extérieur, ce qui montre le changement qui se produit au niveau de la résistance thermique de la mousse, au cours de sa vie utile.

Les calculs effectués grâce à ce modèle révèlent que la plus grande perte de résistance thermique est due à la pénétration de l'air dans les cellules. Contrairement à ce qu'on croyait précédemment, la perte de gonflant par migration vers l'extérieur ne contribue pas de manière importante à la réduction de la résistance thermique de l'isolant.

Mousses de polyuréthane et résistance thermique de calcul

La dérive thermique (vieillissement) des isolants en polyuréthane pose un problème aux concepteurs : ils ne peuvent se servir de la résistance thermique initiale du produit dans leurs calculs, car elle n'est pas représentative de la résistance thermique que présentera l'isolant pendant sa période de service. Ce qu'il leur faudrait, c'est une valeur qui reflète la perte graduelle de résistance thermique.*

On a constaté, dans le cadre d'une étude *in situ* de deux ans (réalisée par un consor-

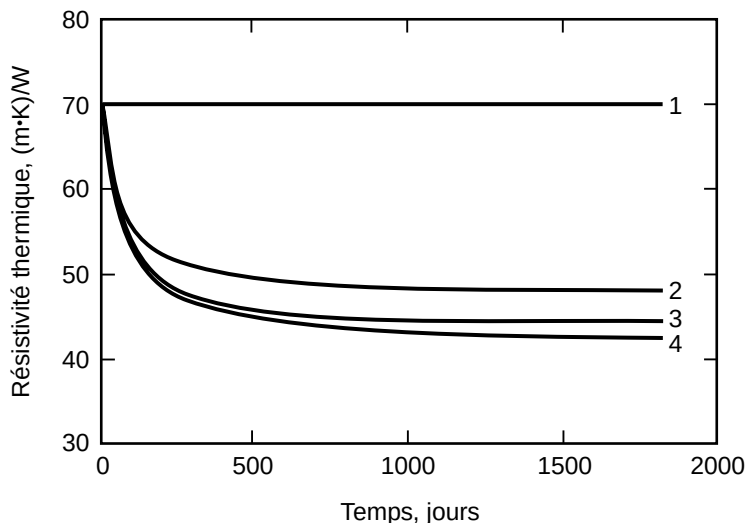


Figure 2. La résistance thermique par rapport au temps de vieillissement dans le cas d'un échantillon type de mousse de polyuréthane de 25 mm d'épaisseur

* L'IRC a réalisé plusieurs projets de recherche portant sur l'examen de la valeur R de mousses de polyuréthane pistolées, selon le gonflant utilisé. Les chercheurs ont comparé les valeurs R à long terme relevées à celles qui avaient été prévues.¹ Dans un projet, ils ont constaté que la résistance thermique d'une MPP exposée pendant cinq ans sur une façade d'un bâtiment de l'IRC concordait à 3 % près avec les résultats obtenus en laboratoire avec des échantillons de masse volumique moyenne dont le gonflant était le CFC-11. Dans un autre projet, l'IRC a exposé pendant deux ans et demi plusieurs MPP de masse volumique moyenne (agent d'expansion : HCFC-141b).

tium IRC-industrie) portant sur la résistance thermique d'un produit de masse volumique moyenne utilisé dans un système d'isolation de sous-sol de maison par l'extérieur, que l'effet de l'exposition aux conditions extérieures se manifestait surtout au début.²

La résistance thermique d'une mousse isolante contenant des gaz varie dans le temps; les calculs portant sur la perte (ou le gain) thermique devraient donc être basés sur la valeur moyenne des caractéristiques thermiques du produit pendant sa période de service. Comme la variation de la résistance thermique des mousses projetées n'est pas linéaire (voir figure 2) ni uniforme au sein du produit, dans le temps, il faut déterminer la valeur qui reflète la résistance thermique moyenne de l'isolant au cours de sa vie utile.

La norme ULC-S770 définit la résistance thermique à long terme (RTLTL) d'un produit à mousse comme la valeur mesurée dans des conditions standard de laboratoire après cinq ans de stockage dans un tel local. Cette valeur, déterminée à l'aide d'un essai accéléré en laboratoire, est utilisée au lieu de celle qui serait obtenue après cinq ans.

La résistivité thermique (valeur r) est l'inverse du facteur k . Elle définit la résistance au flux calorifique, par unité d'épaisseur, à travers un matériau. La résistance thermique (valeur R) est la résistance au flux calorifique offerte par une couche de mousse ayant une épaisseur déterminée. On obtient la valeur R en multipliant la valeur r par l'épaisseur de la mousse.

Le processus de vieillissement de la mousse de polyuréthane dépend d'un certain nombre de facteurs, par exemple les caractéristiques chimiques et morphologiques de la mousse, le type de gonflant et son interaction, ou l'épaisseur du matériau. C'est en grande partie cette dernière qui conditionne la conservation de la performance thermique initiale de la mousse, car l'air ambiant met plus de temps à atteindre toutes les cellules d'un isolant épais. Si le produit n'a pas été testé et que sa RTLTL n'est pas connue, il faut appliquer les valeurs indiquées au tableau 2 aux MPP fabriquées conformément aux normes en vigueur.

Tableau 2. Résistivité thermique selon l'épaisseur de mousse

Épaisseur, mm (po)	Résistivité thermique, (m·K)/W [(pi ² h F)/Btu po]
40 (1,5)	39,5 (5,70)
50 (2)	39,9 (5,80)
75 (3)	42,4 (6,15)

Performance hygrométrique des mousses de polyuréthane

Lorsqu'une mousse de polyuréthane à température constante est exposée à l'eau ou à la vapeur d'eau, il ne s'y accumule guère d'humidité, car 90 % des cellules sont fermées et donc enveloppées de membranes continues que l'eau ne peut traverser. Cependant, si l'exposition à l'eau survient sous un écart de température, comme cela arrive généralement dans le cas des isolants employés dans le bâtiment – une face (à l'intérieur) étant chaude et l'autre (à l'extérieur) froide –, la vapeur d'eau peut migrer vers le côté froid en traversant les cellules de la mousse (par suite de la diffusion, de la condensation et de l'évaporation, qui se produisent dans cet ordre) et s'accumuler dans l'isolant.

La force à l'origine de l'accumulation d'eau est l'écart de pression de vapeur, ou l'énergie de la vapeur. Cet écart de pression est dû à la pression que la vapeur d'eau exerce sur les parois des cellules et il dépend de la concentration de vapeur (humidité relative) et de la température de l'air de part et d'autre des parois des cellules. L'écart de pression est plus grand du côté chaud de l'isolant; il diminue avec la température. Pour équilibrer la pression, la vapeur se déplace progressivement vers le côté froid, où la pression de vapeur est moins forte, traversant régulièrement l'isolant et en sortant si rien ne l'empêche. Cette manière de dissiper la vapeur d'eau est parfois qualifiée de « concept de passage à travers ».

Comme la vitesse de transmission de l'humidité diminue en proportion inverse de l'épaisseur de l'isolant, il importe de prescrire une épaisseur qui permettra de réduire le plus possible l'accumulation d'humidité dans la mousse, au cours d'une saison. Les minces couches de mousse isolante pistolée (de moins de 15 mm) sont déconseillées (notamment pour cette rai-

Tableau 3. Valeur de calcul moyenne de perméance à la vapeur d'eau dans le cas des systèmes comportant de la MPP

MPP et support	Épaisseur totale, mm (po)	Résistance à la VE (Pa·s·m ²)/μg	Perméance ng/(Pa·s·m ²) (perm)
50 mm (2 po), plâtre pour extérieur	63 (2½)	19	52 (0,91)
75 mm (3 po), plâtre pour extérieur	89 (3½)	25,7	39 (0,68)
50 mm (2 po), blocs de béton	74 (2⅞)	33,9	29,5 (0,52)
75 mm (3 po), blocs de béton	98 (3⅞)	40,6	24,6 (0,43)

son); les couches épaisses (de 40 mm ou plus) sont généralement satisfaisantes et donnent de bons résultats.

Si le côté froid de l'isolant est en contact avec un matériau imperméable, par exemple un parement métallique, l'eau qui se condense dans les cellules ne pourra pas s'échapper. Par conséquent, la quantité d'eau absorbée par l'isolant sera plus grande qu'elle ne le serait si l'eau était libre de s'échapper. Si la température du côté froid de l'enveloppe du bâtiment se réchauffe, comme cela se produit au printemps et en été, une partie de l'humidité contenue dans l'isolant reviendra dans le bâtiment par migration.

Dans des conditions de service typiques, si on prescrit une épaisseur raisonnable de mousse et si le concept du passage de la vapeur d'eau au travers de l'isolant est appliqué, la présence d'eau dans les cellules n'influera pas de manière importante sur la performance thermique de la mousse de polyuréthane projetée. La présence d'air et de gonflants dans les cellules protège aussi l'isolant contre les dommages dus aux cycles gel-dégel.

Perméance à la vapeur d'eau

Le tableau 3 indique les valeurs de calcul typiques de perméance à la vapeur d'eau dans le cas des mousses de polyuréthane pistolées appliquées sur les murs en plaques de plâtre ou en blocs de ciment.

La plus faible perméance du système MPP-blocs de béton est due au fait que lorsque l'isolant est appliqué sur un élément comme le bloc de béton, il se forme en surface une « peau » qui résiste bien à la migration de la vapeur d'eau, ce qui

n'est pas le cas lorsque la mousse est pulvérisée sur un élément (p. ex. la plaque de plâtre) constitué d'un matériau capillaire.

Recommandations pratiques

- Lorsqu'on utilise de la mousse de masse volumique moyenne comme isolant et pare-vapeur, dans un mur, il est recommandé d'appliquer une couche d'au moins 40 mm d'épaisseur.
- Lorsqu'on utilise un produit à mousse pour un mur extérieur, il faut veiller à ce que l'humidité qui traverse la mousse ne détériore pas les autres matériaux. Cela peut arriver lorsque l'humidité est emprisonnée dans un matériau qui y est sensible (par exemple le contreplaqué ou le panneau de particules orientées) et qui ne peut sécher à cause de l'épaisseur de MPP, ou lorsque l'accumulation d'humidité dans la couche extérieure de la mousse pistolée pourrait endommager un matériau sensible à l'humidité, par exemple la tôle.
- Lorsqu'on applique un produit à mousse derrière le revêtement extérieur d'un mur à écran pare-pluie afin de protéger le mur de fond (porteur) contre l'eau, il faut ménager une lame d'air entre l'isolant et le revêtement (généralement, l'épaisseur minimale de la lame d'air est de 25 mm).
- Lorsqu'elle sert de pare-air, la mousse de polyuréthane peut se fissurer au droit des joints soumis aux mouvements différentiels causés par le retrait ou le fléchissement d'éléments de charpente. Pour maintenir l'intégrité du pare-air, couvrir les joints à l'aide d'une bande de membrane autocollante débordant sur les côtés.³

- Lorsqu'elle est employée dans un complexe de couverture, la mousse isolante doit être pulvérisée sur une surface sèche, sinon la chaleur produite par la réaction chimique lors du processus de formation de la mousse peut créer des poches gazeuses contenant un mélange air-vapeur, ce qui peut provoquer une perte d'adhésion.
- Lorsque la mousse pistolée est employée comme isolant de couverture, elle doit avoir un fini lisse et être protégée à l'aide d'un enduit à application liquide. La plupart de ces enduits ont un coefficient de perméabilité à la vapeur dont l'ordre de grandeur est le même (ou plus élevé) que celui de la mousse pistolée.
- Les bonnes conception et exécution des détails des solins sont toutes deux importantes si l'on veut assurer la longévité des couvertures comportant de la MPP. Il faudrait suivre les recommandations de l'industrie.
- Il faut protéger adéquatement les systèmes de couverture comportant un isolant en mousse pistolée. La perforation de l'isolant et le renversement de liquides (p. ex. huile ou essence) devraient être signalés sur-le-champ.

Conclusion

Différents types de mousses de polyuréthane pistolées sont utilisés depuis nombre d'années comme isolants et/ou pare-air, et leurs caractéristiques et leur mise en oeuvre font l'objet de normes canadiennes. Certains produits destinés à servir de pare-air en sont encore au stade de la mise au point et subissent actuellement des essais de durabilité. Enfin, il existe des produits – plus précisément les produits à mousse à cellules ouvertes – qui n'ont pas fait l'objet d'essais rigoureux. Il importe donc que les concepteurs et prescripteurs s'informent des résultats des essais et des évaluations visant les produits qu'ils se proposent d'employer.

Références

1. Bomberg, M.T., et Kumaran, M.K. Laboratory and roofing exposures of cellular plastic insulation to verify a model of aging, 3rd Symposium on Roofing Research and Standards Development, ASTM STP 1224, ASTM, Philadelphie, 1994, p. 151-167.
2. Swinton, M.C., Bomberg, M.T., Kumaran, M.K., Normandin, N. et Maref, W. Performance des isolants thermiques posés à l'extérieur des murs de sous-sol, Solution constructive n° 36, Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches du Canada, 1999, 8 p. (sous presse)
3. Bomberg, M.T., et Lstiburek, J.W. Spray polyurethane foam in external envelopes of buildings, Technomic Publishing Co., Lancaster, PA, 1999, p.1-335.

M.T. Bomberg, Ph.D., et M.K. Kumaran, Ph.D., sont chercheurs supérieurs au sein du programme Enveloppe et structure du bâtiment, à l'Institut de recherche en construction du Conseil national de recherches.

© 1999
Conseil national de recherches du Canada
Décembre 1999
ISSN 1206-1239