



technical bulletin

bulletin technique

VOLUME 47

NOVEMBRE 1998

MÉTHODES DE DÉTERMINATION DE L'HUMIDITÉ DANS LES MATÉRIAUX DE COUVERTURE

Mesures et limites

Mots clefs : capillarité, degré d'humidité sur sec, degré d'humidité d'équilibre, gravimétrie, hygroscopticité, coefficient de résistance thermique, degré d'humidité sur humide.

Sans aucun doute, c'est l'humidité qui exerce un des impacts les plus considérables sur le rendement des couvertures. L'excès d'humidité sur les couvertures peut avoir pour conséquences la pourriture, la détérioration, des variations dimensionnelles, la corrosion, la perte de solidité ou de résistivité et autres. C'est un fait généralement accepté qu'une couverture construite avec des matériaux mouillés ou humides aura un rendement inférieur à celui des couvertures construites avec des matériaux secs.

Toutefois, on continue à débattre les points suivants:

- 1) quel degré d'humidité peut-on tolérer, et
- 2) comment peut-on mesurer la quantité d'humidité à l'intérieur des systèmes, des sous-systèmes et des matériaux de couverture?

Malheureusement, il est encore difficile de répondre à ces questions, car la quantité d'humidité indiquée varie selon la méthode utilisée. De plus, l'effet de l'humidité sur le rendement peut varier considérablement d'un type de matériau à l'autre et selon la configuration des systèmes.

Le présent bulletin technique passe en revue les diverses méthodes utilisées pour calculer le degré d'humidité (DH) dans les matériaux et la possibilité de les utiliser pour déterminer le degré acceptable d'humidité des matériaux se trouvant sur les chantiers.

Pour commencer, nous devons reconnaître que les matériaux de construction ne sont jamais complètement secs. Il s'y trouve toujours un certain degré d'humidité. Certains contiennent de l'eau sous forme liée, comme le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Si ces matériaux sont suffisamment chauffés, l'eau s'en dégage par suite d'un processus qu'on appelle la calcination. Dans ce cas, l'humidité est nécessaire pour faire du gypse un bon isolant thermique.

Normalement, le degré initial d'humidité d'un matériau n'affectera pas négativement le rendement du toit. Toutefois, ce degré initial d'humidité peut être considérablement dépassé si on laisse les matériaux se mouiller pendant les travaux de construction, ou s'ils sont entreposés dans un milieu très humide. Un problème vient du fait que les devis et normes se rapportant aux matériaux indiquent rarement le degré initial d'humidité des matériaux lorsqu'ils quittent l'usine. Il y a quelques exceptions, comme pour les feutres pour couvertures, qui doivent avoir un degré maximum d'humidité de 3 % par masse (CSAA123.3) et l'isolant thermique en granulats minéraux pour couvertures (CSA-A284), pour lequel le degré d'humidité doit être limité à 3 % par volume. À cause de la rareté de l'information disponible au sujet du degré initial d'humidité dans la plupart des matériaux de construction, il est très difficile d'établir si les degrés d'humidité dans les matériaux se trouvant au chantier sont plus élevés

The opinions expressed herein are those of the CRCA National Technical Committee. This Technical Bulletin is circulated for the purpose of bringing roofing information to the attention of the reader. The data, commentary, opinions and conclusions, if any, are not intended to provide the reader with conclusive technical advice and the reader should not act only on the roofing information contained in this Technical Bulletin without seeking specific professional, engineering or architectural advice. Neither the CRCA nor any of its officers, directors, members or employees assume any responsibility for any of the roofing information contained herein or the consequences of any interpretation which the reader may take from such information.

Les opinions exprimées ci-dessus sont celles du Comité Technique National de l'ACEC. Ce bulletin technique est distribué dans le but de véhiculer des renseignements pertinents sur l'industrie de la couverture. Les énoncés, commentaires, opinions et conclusions, s'il y a lieu, ne constituent pas un avis technique définitif, nous invitons le lecteur à solliciter l'avis d'un professionnel en génie ou en architecture. Aucune responsabilité ne sera assumée par l'ACEC, l'un des officiers ou directeurs de même que par des membres ou employés sur l'interprétation et l'utilisation que le lecteur pourra faire des renseignements contenus dans ce bulletin.

qu'au moment où ces matériaux ont quitté leur endroit de fabrication et ce qui a causé ces degrés.

couvertures, dans un milieu où l'humidité est élevée, ainsi que complètement immergés dans l'eau. Ces études ont permis d'établir une gamme précise de degrés d'humidité pour chaque matériau de couverture particulier. Il est important de distinguer entre le maximum d'humidité pouvant être absorbé par un matériau lorsqu'il est immergé dans l'eau et l'humidité qui peut être absorbée à partir de l'air ambiant (c'est-à-dire l'humidité relative).

Chaque matériau au un degré d'humidité d'équilibre (DHÉ). Il s'agit de la quantité d'eau qu'il contient après une exposition à long terme à un degré constant d'humidité relative et à une température spécifique. Lorsque le matériau contient plus d'eau que son DHÉ, il est mouillé, il ne peut absorber plus d'eau et il peut transférer de l'eau à l'air ou aux matériaux qui l'entourent.⁽¹⁾ La propriété d'un matériau qui sert à en mesure la capacité d'absorber et de retenir l'eau provenant de l'air ambiant s'appelle son hygroscopicité. Plus un matériau est hygroscopique, plus il va absorber d'eau, et plus il va éventuellement dégager d'eau lorsqu'il sera soumis à la chaleur. Lorsqu'un matériau est immergé dans l'eau jusqu'au moment où il ne peut plus gagner de poids, on dit qu'il est saturé, ce qui signifie qu'il a absorbé la quantité maximale d'humidité possible.

De nombreux matériaux de couverture sont hygroscopiques et absorbent beaucoup d'humidité provenant de l'air ambiant. L'isolant en bois ou en fibre cellulosique peut tolérer une degré considérable d'humidité à cause de son affinité naturelle pour l'eau, mais risque d'absorber un degré excessif d'humidité s'il est longtemps entreposé au chantier sans protection suffisante. Une humidité excessive dans les panneaux de fibres peut provoquer d'importants changements dimensionnels, à cause du gonflement des fibres organiques. De plus, la capillarité des panneaux de fibres est assez élevée, leur permettant d'attirer l'eau, ce qui fait que s'il se produit une fuite, l'humidité va se répandre rapidement.

Même lorsqu'un matériau, comme un feutre-toiture, est saturé d'asphalte, la saturation n'affecte pas beaucoup le degré d'humidité d'équilibre qui sera finalement atteint, mais influence seulement le temps nécessaire pour atteindre sa « saturation d'humidité »⁽²⁾. Les feutres saturés d'asphalte ne sont pas complètement saturés, parce qu'ils contiennent de nombreux petits vides. Comme le

processus de saturation n'est pas complet, ces vides facilitent l'entrée de l'humidité provenant de l'air ambiant. Ce qui fait que la capacité des feutres saturés de retenir l'eau est plutôt élevée et que ces feutres se comportent à peu près comme des éponge quand on les mouille.

Les matériaux qui sont visiblement non hygroscopiques peuvent être affectés par une exposition prolongée à l'humidité. Par exemple, les membranes en PVC peuvent subir une perte accélérée d'éléments plastifiants si elles subissent des cycles répétés de formation de flaques et d'évaporation, ce qui peut provoquer une fragilisation de la membrane et son rétrécissement. Dans le cas des isolants en verre mousse, bien que ce matériau soit très résistant à l'humidité, il absorbe de l'humidité et se décompose rapidement lorsqu'il est exposé au cycle du gel et du dégel⁽³⁾.

Il peut donc exister deux classes séparées de DH. La première est le degré d'humidité sur sec, qui est fonction de l'humidité de l'air ambiant et des caractéristiques d'absorption du matériau. Des études indiquent que le DH sur sec n'est jamais zéro, mais varie entre un DH minimum jusqu'à un degré maximum d'environ 90 % de l'humidité relative⁽⁴⁾. Le DH sur mouillé varie en fonction du contact avec l'eau à l'état liquide provenant des fuites du toit ou de la condensation au point de rosée et fluctue considérablement d'un matériau à l'autre⁽⁵⁾.

Lorsqu'on cherche à déterminer le degré d'humidité acceptable, il est essentiel de faire une distinction entre le degré d'humidité sur sec et sur humide. Simplement indiquer le degré d'humidité d'équilibre d'un matériau n'aura aucune signification, parce qu'on ne mentionne aucun point de référence permettant de déterminer un degré d'humidité acceptable. Carl Cash, de Simpson, Gumpertz & Heger, Inc., a proposé qu'un matériau soit considéré « sec » lorsqu'il contient moins d'eau que son degré d'humidité d'équilibre (DHÉ) à un degré d'humidité relative de 45 p. 100, « humide » lorsqu'il contient plus d'humidité que son DHÉ à 45 p. 100 d'HR mais moins que son DHÉ à 90 p. 100 d'HR, et « mouillé » lorsqu'il contient plus d'eau que son DHÉ à 90 p. 100 d'HR⁽⁶⁾.

Mesurer le degré d'humidité

Il y a de nombreuses façons d'extraire et de mesurer l'humidité se trouvant dans les matériaux, à partir de la technique relativement simple du séchage dans un four jusqu'aux techniques plus

perfectionnées de la distillation, du titrage de Fischer et de la pression du carbure de calcium.

La méthode la plus courante de mesure du degré d'humidité des matériaux est le séchage dans un four. Il s'agit simplement de peser le spécimen avant et après le séchage, lorsqu'il a été séché jusqu'au point où son poids devienne constant dans un four dont la température est maintenue à une température particulière (comme le bois - 103°C). Les principales causes d'erreurs lorsqu'on utilise la méthode de séchage au four sont : l'élimination incomplète de l'eau, l'élimination de produits volatiles autres que l'eau et l'humidité réabsorbée pendant le pesage.

Une autre méthode souvent utilisée est la distillation. Si le spécimen contient des matières volatiles autres que l'eau, comme de l'huile, ces matières volatiles vont s'évaporer pendant le séchage au four. Il est impossible de distinguer la perte de poids qui en résultera de celle qui sera causée par l'évaporation de l'eau. Dans ces cas-là, on utilise un processus de distillation. La méthode fait appel à une fragmentation du spécimen et à l'ébullition des fragments dans un dissolvant volatile. Les vapeurs de dissolvant et d'eau sont ensuite éliminées par ébullition et condensées dans des pièges étalonnés. On mesure la quantité d'eau se trouvant dans le piège et on obtient le poids des fragments de spécimen à sec une fois le dissolvant retiré au moyen du séchage au four.

Méthode gravimétrique

Bien qu'il existe plusieurs méthodes utilisées pour extraire l'humidité d'un échantillon, toutes les méthodes gravimétriques (mesure par poids) font appel à la comparaison du poids de l'échantillon avant et après l'élimination de l'humidité. La précision de cette méthode dépend des facteurs suivants :

- 1) il faut s'assurer que le spécimen a été complètement débarrassé de toute humidité possible avant le pesage final;
- 2) le poids initial du spécimen doit comprendre toute l'humidité qu'il contenait au moment du prélèvement de l'échantillon, et uniquement cette humidité (il ne doit pas y avoir d'humidité qui s'échappe ou s'ajoute avant le pesage initial);
- 3) l'exactitude dépendra de l'exactitude et de la sensibilité des balances et des échelles utilisées pour mesurer l'échantillon.

Méthode volumétrique

Si tous les isolants avaient la même densité, ou si on faisait l'essai d'une seule densité d'isolant, une

comparaison du degré d'humidité sur la base d'un pourcentage par poids fournirait une mesure acceptable du degré d'humidité⁽⁷⁾. Toutefois, il existe des isolants qui ont toute une gamme de densités, et une comparaison du degré d'humidité sur la base d'un pourcentage par poids peut être très éloignée de la réalité. Dans ces circonstances, une méthode plus acceptable de comparaison du degré d'humidité d'isolants de densités variées se fait sur une base volumétrique (pourcentage par volume).

L'exemple suivant illustre comment on peut obtenir des résultats différents au moyen de la méthode gravimétrique par opposition à la méthode volumétrique.

Supposons que deux échantillons d'isolants différents dont les dimensions sont 1 m par 1 m par 1 m (1m³) et qui ne contiennent pas d'humidité initiale possèdent les propriétés suivantes :

Isolant A	<i>Poids initial (sec)</i>	= 5 kg
	<i>Densité initiale</i>	= 5 kg/m ³

Isolant B	<i>Poids initial</i>	= 2 kg
	<i>Densité initiale</i>	= 2 kg/m ³

Supposons qu'on fait absorber 1 kg d'humidité à chaque échantillon. Au moyen de la méthode gravimétrique, le degré d'humidité de chaque échantillon sera calculé comme suit :

Isolant A
(pourcentage d'humidité par poids) = $1 \text{ kg} \div 5 \text{ kg}$
(100) = 20 %

Isolant B
(pourcentage d'humidité par poids) = $1 \text{ kg} \div 2 \text{ kg}$
(100) = 50 %

En se fondant sur la méthode gravimétrique, il semble que l'isolant B contienne 2,5 fois plus d'humidité que l'isolant A.

Au moyen de la méthode volumétrique, le degré d'humidité de chaque échantillon est calculé comme suit :
La densité de l'eau est 1000 kg/m³

On peut calculer le volume de l'eau (Vm) dans l'isolant A et l'isolant S comme suit :

$Vm = 1 \text{ kg} / 1000 \text{ kg/m}^3 = 0,001 \text{ m}^3$
Le volume des deux isolants est 1 m³

Le degré d'humidité de l'isolant A en termes de pourcentage du volume est donc :

$$0,001m^3 \times 100 = 0,1 \%$$

Dans le cas de l'isolant B, le degré d'humidité est aussi 0,1 % ($0,001 m^3 \times 100 = 0,1\%$).

Il devient évident que le degré d'humidité des deux isolants est égal si on le calcule en fonction du volume.

Pourquoi la distinction entre les deux méthodes est-elle importante? Un degré d'humidité fondé sur le poids de X % signifie que l'eau dans l'échantillon pèse X fois autant que l'échantillon sec. Dans le cas de matériaux légers comme le polystyrène à faible densité, il est possible d'obtenir avec la méthode gravimétrique des degrés d'humidité de 1000 %, ce qui peut amener à tirer des conclusions erronées lorsqu'on compare des matériaux de densités différentes. Par exemple, un degré d'humidité (par poids) de 50 % pourrait avoir de graves conséquences dans le cas de matériaux lourds comme les panneaux de fibre, tout en ayant peu d'effet sur les isolants légers comme le polystyrène. Des difficultés se présentent, quelle que soit la méthode utilisée, lorsqu'on essaie de mesurer le degré d'humidité d'échantillons prélevés sur le terrain. Il est très difficile de mesurer avec précision le volume des échantillons. De plus, il est important de reconnaître le rôle joué par la feuille de revêtement de l'isolant lorsqu'on prélève des échantillons sur le terrain. Une fois la feuille de revêtement de l'isolant collée au support ou lorsqu'une membrane est collée à la feuille, il est très difficile de séparer l'isolant et ses feuilles de revêtement de ces éléments. Même s'il est possible de le faire, une partie de l'asphalte ou de l'adhésif aura pénétré la feuille de revêtement, ou même l'isolant lui-même, et l'augmentation de poids qui en résultera sera source d'erreurs. De plus, certains revêtements sont plus susceptibles d'absorber l'humidité que les autres, donc une autre source d'erreurs.

Les deux méthodes de détermination du degré d'humidité de l'échantillon mesurent le degré moyen d'humidité de l'échantillon. Des études ont révélé que l'humidité est souvent distribuée de façon peu uniforme dans l'échantillon prélevé sur le terrain. Selon les conditions extérieures et les gradients de température, il est possible d'avoir à certains endroits particuliers ou dans certaines couches (du dessus ou du dessous) certains

échantillons d'isolant qui soient plus humides ou plus secs que le degré moyen d'humidité.⁽⁸⁾

Une fois calculé le degré d'humidité de l'isolant, le problème qui reste est celui de déterminer l'effet du degré d'humidité mesuré sur le rendement de l'isolant. Comme on l'a mentionné plus tôt, simplement dire qu'un isolant a un degré d'humidité de X ne signifie rien. Ce qui est important est d'établir la relation entre le degré d'humidité et les caractéristiques importantes du rendement du matériau, comme sa résistivité thermique.

Wayne Tobiasson propose le concept du coefficient de résistance thermique (CRT), qui est le rapport entre la résistivité thermique de l'isolant humide et sa résistivité thermique lorsqu'il est sec.⁽⁹⁾ En se fondant sur ses recherches considérables, il propose qu'un isolant dont le CRT est moins de 80 % est « mouillé » et inacceptable parce que sa qualité isolante est diminuée. Ce n'est toutefois pas absolu. Dans le cas de certains isolants, moins d'humidité que nécessaire pourrait faire baisser le CRT à moins de 80 % peut en endommager le rendement (c'est-à-dire peut causer de la corrosion, de la pourriture ou un délaminage).

Conclusion

L'eau sous forme de vapeur ou de liquide peut pénétrer les toitures de plusieurs façons et ses effets peuvent être graves. Les sources d'eau peuvent comprendre :

- 1) le processus de la construction :
 - abri insuffisant, entreposage excessivement long des matériaux, travail par mauvais temps;
 - application des matériaux par dessus un platelage humide;
 - ventilation insuffisante (en versant le béton).
- 2) des fuites - solins et pénétrations;
- 3) la condensation;
- 4) l'endommagement du toit et les défauts;
- 5) un mauvais séchage des matériaux (particulièrement les isolants fabriqués au moyen d'un processus humide).

Les effets de l'humidité sur les fonctions et le rendement des éléments du toit et sur l'ensemble du système dépendront des propriétés des matériaux. Mesurer le degré d'humidité des matériaux est une tâche difficile. Il existe de nombreuses méthodes de vérification et de mesure

de l'humidité dans les matériaux, mais chacune d'entre elles a ses limites. La façon de mesurer l'humidité et d'en faire rapport peut avoir une incidence considérable sur la décision de réparer ou de remplacer le toit. Il est encore plus difficile de déterminer si les degrés d'humidité sont acceptables et quelles seront les conséquences de l'humidité mesurée. La détermination du degré acceptable d'humidité devrait être faite par des personnes qui comprennent parfaitement le comportement de l'humidité et des matériaux. Trop souvent, le degré acceptable est déterminé de façon arbitraire, avec peu de fondement scientifique.

RÉFÉRENCES

- 1.** Cash, Carl G., « Moisture and Built-up Roofing », Proceedings of the Second International Symposium on Roofing Technology, NRCA, Chicago, 1985, p. 417.
- 2.** Joy, Frank A., « Premature Failure of Built-up Roofing, Building Research, Pennsylvania University, Pennsylvanie, 1963, p. 2.
- 3.** Tobiasson, W. et coll., « Freeze-Thaw Durability of Common Roof Insulations », Proceedings of the Fourth International Symposium on Roofing Technology, NRCA, Chicago, 1994, p. 357.
- 4.** Anderson, R.G., « Dry Range and Wet Range Moisture Content of Roofing Materials as Found in Existing Roofs », Proceedings of the Second International Symposium on Roofing Technology, NRCA, Chicago, 1985, p. 410.
- 5.** Ibidem, p. 410.
- 6.** Op. Cit, p. 418.
- 7.** Dupuis, R.M. et Dees, J.G., « Expanded Polystyrene Insulation for use in Built-up and Single Ply Roofing Systems », rapport de recherche parrainé par la MRCA, la NRCA et le SPI, août 1984, p. B-66.
- 8.** Anderson, R.G., op. cit., p. 409.
- 9.** Tobiasson, W. et coll., « New Wetting Curves for Common Roof Insulations », Proceedings of the 1991 International Symposium on Roofing Technology, NRCA,