ÉTUDE DES PERFORMANCES DU REVÊTEMENT DE PLÂTRE

par Gustav Handegord

HANDEGORD AND COMPANY INC.
185, chemin Strathcona S.-O.
Calgary (Alberta) T3H 1X9

septembre 1993

Agent du projet à la SCHL: Jacques Rousseau

Ce projet a été réalisé grâce à une contribution financière de la Société canadienne d'hypothèques et de logement, dans le cadre du Programme de subventions de recherche (Dossier n° 6585-H066-2 de la SCHL). Les idées exprimées sont celles de l'auteur et ne représentent pas le point de vue officiel de la SCHL.

This publication is also available in English under the title "Investigation of the Performance of Gypsum Sheathing".

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	i
RÉSUMÉ	ii
INTRODUCTION	1
ÉTUDES EXPÉRIMENTALES	2
ANALYSE DES RÉSULTATS	3
ÉVALUATION DES PERFORMANCES DE MURS	5
ESTIMATION DES CONDITIONS INTÉRIEURES	6
MURS À PLACAGE DE BRIQUE	7
MURS PEI	8
MURS REVÊTUS DE PLAQUES DE PLÂTRE	9
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	9
RENVOIS	13
TABLEAU 1 HUMIDITÉ INTÉRIEURE ESTIMATIVE D'APPARTEMENTS OCCUPÉS	14
TABLEAU 2 MURS À OSSATURE D'ACIER ET PLACAGE DE BRIQUE	15
TABLEAU 3 MURS À OSSATURE D'ACIER PEI	16

ÉTUDE DES PERFORMANCES DU REVÊTEMENT DE PLÂTRE

SOMMAIRE

Le logiciel EMPTIED a servi à évaluer la résistance à l'humidité de murs types à parement extérieur isolant ou placage de brique (PEI) sous quinze différentes conditions climatiques au Canada. Les conditions intérieures étaient présumées être celles d'un appartement d'une chambre, habité par deux personnes, et ventilé par l'air extérieur au rythme constant de 0,3 renouvellement d'air à l'heure.

D'après les résultats, si l'espace entourant les poteaux comporte une isolation thermique dans l'un ou l'autre de ces types de murs, la température du plâtre tombera vraisemblablement sous le point de rosée intérieur à tous les endroits, à moins d'une isolation surabondante à l'extérieur. En l'absence d'isolation dans l'espace des poteaux, cependant, une quantité moyenne d'isolation extérieure devrait suffire pour maintenir la température du revêtement au-dessus du point de rosée ambiant. Pour les murs dont l'ossature est isolée, avec une isolation extérieure de 25 mm et 50 mm, nous avons cerné, pour chaque ville, les aires de fuite limitant la teneur en humidité du revêtement de plâtre au-dessous du niveau propice à la moisissure et au mildiou, de même qu'aboutissant à la saturation et une éventuelle détérioration structurale.

Une étude expérimentale où des revêtements de plâtre ont été exposés à différentes conditions de condensation sous un gradient de températures a permis d'établir les conditions limitant la teneur en humidité pour ces évaluations, quoiqu'elle ait aussi remis en question l'idée reçue qu'une condensation se produit sur toutes les surfaces dont la température est au-dessous de celle du point de rosée de l'air avec lequel elles entrent en contact. Conjuguées aux analyses et mesures de certains autres chercheurs, les observations qui ont été faites laissent croire que de la condensation se forme sur les surfaces non absorbantes qui sont sous la température du point de rosée, mais pas nécessairement sur les surfaces absorbantes, du moins jusqu'à ce qu'elles atteignent une humidité spécifique équivalente à une humidité relative de 100 %. Elles ouvrent aussi la voie à toutes sortes de possibilités pour la protection du revêtement de plâtre contre la condensation, ainsi que pour la mise au point d'éléments de conception améliorés pour les enveloppes de bâtiment.

ÉTUDE DES PERFORMANCES DU REVÊTEMENT DE PLÂTRE

RÉSUMÉ

Le revêtement de plâtre entrant dans la composition des murs de tours d'habitation recouvertes d'un placage de brique ou d'un PEI a tendance à moisir et, dans certains cas, à se saturer d'eau lorsqu'un isolant est ajouté entre les poteaux d'acier. Ces problèmes surviennent habituellement quand la température du revêtement descend sous le point de rosée de l'air intérieur, et que l'humidité migre et se condense par diffusion de vapeur et exfiltration d'air. Plusieurs méthodes permettent de prévenir ou d'atténuer ces problèmes.

La condensation peut être évitée si le revêtement est maintenu en tout temps à une température supérieure au point de rosée de l'air intérieur. Si l'espace entre les poteaux demeure vide d'isolant, de faibles quantités d'isolant appliqué à l'extérieur du revêtement pourraient suffire, mais s'il se trouve de l'isolant entre les poteaux, l'isolation extérieure risque de devenir prohibitive.

La prolifération de la moisissure pourrait sans doute être évitée si la teneur en humidité du revêtement était maîtrisée. Dans le cas du bois et des produits du bois, on tient généralement pour acquis que le niveau de prolifération à ne pas dépasser correspond au point de saturation des fibres, c'est-à-dire la teneur en humidité atteinte après une exposition continue à de l'air dont l'humidité relative est de 100 %.

De même, si l'humidité qui s'accumule sur le revêtement pouvait être maintenue en-deçà de la quantité requise pour atteindre la saturation complète, il serait vraisemblablement possible de prévenir la détérioration structurale du revêtement.

Une autre méthode consiste à protéger le revêtement de plâtre des effets de la condensation d'humidité sur sa paroi intérieure. Il s'agit de recouvrir cette surface d'une membrane Tyvek ou d'un matériau similaire perméable à la vapeur, mais imperméable à l'eau. Ainsi, la vapeur d'eau peut s'échapper, mais l'humidité condensée ne peut pas être absorbée à la surface du revêtement. Une mesure beaucoup plus avant-gardiste consisterait à poser une membrane de polyéthylène sur la surface du revêtement afin de prévenir à la fois la diffusion de la vapeur vers le revêtement et l'absorption de l'eau par le revêtement. Dans les deux cas, il faudrait veiller à évacuer à l'extérieur toute humidité ainsi condensée.

Dans le but d'établir les valeurs limites appropriées quant à la teneur en humidité et d'observer les caractéristiques d'humectation des revêtements de plâtre protégés et non protégés dans des conditions de condensation, une étude expérimentale a été entreprise à Calgary à la fin de l'hiver et au début du printemps. L'absence de périodes soutenues de temps froid a empêché la tenue d'essais prolongés sur les conditions de condensation, mais les mesures et observations ont fourni suffisamment de données pour amorcer, à quinze endroits au Canada, une analyse des méthodes proposées à l'aide du logiciel EMPTIED.

Les conditions d'analyse intérieures ont été fondées sur les conditions extérieures mensuelles moyennes de chaque ville en supposant un taux de

ventilation de 0,3 renouvellement d'air à l'heure pour un appartement d'une chambre, de 70 m^2, occupé par deux personnes dont les activités génèrent 0,375 kg d'humidité à l'heure. On a tenu pour acquis que la température de l'air intérieur demeurait constante toute l'année à 23 °C.

À partir de cette hypothèse et au moyen des données climatiques regroupées par « classes » pour l'endroit en question, on a fait appel au programme EMPTIED pour estimer l'épaisseur d'isolant extérieur requise pour maintenir la température en surface du revêtement au-dessus du point de rosée, dans l'espoir d'éviter la formation de condensation lorsque l'espace entre les poteaux est isolé ou non isolé. Les aires de fuite limites requises pour maintenir la teneur en humidité du revêtement de plâtre en-deçà du niveau propice à la prolifération de moisissure et du point de saturation ont également été calculées pour les murs à ossature isolée et à isolation extérieure de 25 mm et 50 mm. Ces données sont présentées sous forme de tableau pour chacun des deux types de mur, à savoir le placage de brique et le PEI.

Au cours de l'étude expérimentale, la SCHL a fourni les ouvrages publiés de chercheurs américains dans le domaine de l'analyse de l'humidité dans les murs réalisée au moyen du logiciel MOIST du NIST. Les expériences réalisées aux États-Unis ont confirmé les valeurs limites de teneur en humidité obtenues pour le revêtement de plâtre. De plus, la méthode analytique retenue par les chercheurs américains a contribué à expliquer certaines observations faites lors des expériences de Calgary.

Durant les études de Calgary, aucune condensation n'a été observée sur le revêtement de plâtre non protégé même lorsque son côté chaud a été exposé à de la condensation. En outre, la teneur en humidité du revêtement n'a augmenté de façon notable que lorsqu'un matériau moins perméable a été appliqué contre la surface extérieure plus froide. Dans cette condition particulière, la teneur en humidité de la plaque de plâtre a augmenté, mais seulement jusqu'au point d'équilibre lorsque l'humidité relative atteint 100 %. Sans nécessairement constituer une valeur limite, les conditions climatiques n'ont pas permis de réaliser des essais à long terme. Lorsque les chercheurs ont eu recours à une membrane Tyvek ou de polyéthylène pour protéger la paroi intérieure du revêtement, ils ont observé de la condensation en surface.

Les observations ayant trait au revêtement de plâtre non protégé concordent avec la théorie de la diffusion classique selon laquelle un revêtement de plâtre est à peu près autant perméable à la vapeur d'eau que l'air immobile ou un isolant en fibres minérales et la pression de la vapeur en surface demeure sous le point de saturation de la pression de la vapeur à cet endroit. Dans ces conditions, la continuité du mouvement de la vapeur est maintenue et l'intérieur ou la surface du revêtement de plâtre n'atteint pas le point de condensation. Cependant, si un matériau moins perméable est placé du côté froid du revêtement, la pression de la vapeur à la jonction peut surpasser le point de saturation de la pression de la vapeur et provoquer la formation de condensation. Le même raisonnement pourrait expliquer la présence de condensation sur le revêtement de plâtre protégé par une membrane de polyéthylène, mais non celle observée sur la très perméable membrane Tyvek.

On trouvera une réponse logique dans la méthode analytique adoptée par les chercheurs américains. En effet, ceux-ci ne présument pas que la

condensation se forme sur toute surface lorsque la température de celle-ci atteint un degré inférieur au point de rosée. Si le matériau est de nature non absorbante comme c'est le cas de la membrane Tyvek et du polyéthylène, il y aura condensation. Si, par ailleurs, le matériau utilisé est de nature absorbante, sa teneur en humidité aura d'abord tendance à augmenter jusqu'à atteindre un point d'équilibre avec l'air à 100 % d'humidité relative. L'humidité absorbée migrera alors dans le matériau et la teneur en humidité de ce dernier continuera d'augmenter jusqu'à ce qu'elle atteigne, sur son côté froid, un état d'équilibre avec les conditions prévalant sur cette surface. Si le côté froid est exposé à un espace d'air ou entre en contact avec un matériau tout aussi perméable, l'humidité relative du matériau pourrait ne pas être à 100 % et la diffusion pourrait se poursuivre vers une surface de condensation plus froide. Toutefois, si le côté froid est recouvert d'un matériau moins perméable, la surface externe pourrait atteindre un taux d'humidité relative de 100 % et la teneur en humidité augmenterait davantage. Si la pression de la vapeur est telle que la continuité du mouvement ne peut être préservée, de l'humidité libre pourrait s'accumuler à la jonction et le revêtement de plâtre pourrait finalement devenir saturé.

Cette analyse permet aussi d'expliquer certaines observations dans la pratique. Dans les cas où est survenue une saturation du revêtement de plâtre à l'intérieur des murs recouverts d'un placage de brique, le papier de revêtement était habituellement en cause. Dans les murs à parement extérieur isolant, le revêtement est recouvert d'un isolant en polystyrène expansé. Dans les deux cas, un matériau de plus faible perméance a été appliqué sur la paroi extérieure et une accumulation d'humidité semblerait possible. Cette situation est inhérente aux parements extérieurs isolants, mais l'élimination du papier de revêtement dans les ouvrages comportant un placage de brique pourrait éviter certains problèmes. L'emploi de matériaux à forte perméance comme la membrane Tyvek, au lieu du papier de revêtement, pourrait respecter les principes de la théorie de la diffusion, mais ses caractéristiques de non-absorption pourraient provoquer de la condensation. Ces mêmes phénomènes pourraient favoriser la prolifération de moisissure sur les plaques de plâtre servant de revêtement intérieur.

De plus amples études seront sans doute nécessaires pour déterminer les effets de ces caractéristiques sur l'accumulation d'humidité dans des conditions de régime stable, ainsi que durant une exposition aux intempéries. Des expériences en conditions de régime stable pourraient être menées en vue de déterminer les effets d'une exposition à long terme et de conditions plus rigoureuses soutenues au-dessous du point de congélation. Les essais d'exposition aux intempéries pourraient être les plus utiles pour évaluer la performance de panneaux grandeur nature, surtout en ce qui concerne la protection de la paroi intérieure du revêtement de plâtre ainsi que le drainage du rail intérieur des ossatures d'acier. On prévoit présenter à la SCHL les propositions touchant ces études complémentaires pour qu'elle les considère dans le cadre de son Programme de subventions de recherche.

ÉTUDE DES PERFORMANCES DU REVÊTEMENT DE PLÂTRE

INTRODUCTION

Le revêtement de plâtre entrant dans la composition des murs de tours d'habitation recouvertes d'un placage de brique ou d'un parement extérieur isolant (PEI) a tendance à moisir et, dans certains cas, à se saturer d'eau lorsqu'un isolant est ajouté entre les poteaux d'acier. Ces problèmes surviennent habituellement quand la température du revêtement descend sous le point de rosée de l'air intérieur, et que l'humidité migre et se condense par diffusion de vapeur et exfiltration d'air. Plusieurs méthodes permettent de prévenir ou d'atténuer ces problèmes.

La condensation peut être évitée si le revêtement est maintenu en tout temps à une température supérieure au point de rosée de l'air intérieur. Si l'espace entre les poteaux demeure vide d'isolant, de faibles quantités d'isolant appliqué à l'extérieur du revêtement pourraient suffire, mais s'il se trouve de l'isolant entre les poteaux, l'isolation extérieure risque de devenir prohibitive.

La prolifération de la moisissure pourrait sans doute être évitée si la teneur en humidité du revêtement était maîtrisée. Dans le cas du bois et des produits du bois, on tient généralement pour acquis que le niveau de prolifération à ne pas dépasser correspond au point de saturation des fibres, c'est-à-dire la teneur en humidité atteinte après une exposition continue à de l'air dont l'humidité relative est de 100 %.

De même, si l'humidité qui s'accumule sur le revêtement pouvait être maintenue en-deçà de la quantité requise pour atteindre la saturation complète, il serait vraisemblablement possible de prévenir la détérioration structurale du revêtement.

Une autre méthode consiste à protéger le revêtement de plâtre des effets de la condensation d'humidité sur sa paroi intérieure.

Il s'agit de recouvrir cette surface d'une membrane Tyvek ou d'un matériau similaire perméable à la vapeur, mais imperméable à l'eau. Ainsi, la vapeur d'eau peut s'échapper, mais l'humidité condensée ne peut pas être absorbée à la surface du revêtement. C'est une pratique de longue date qui sert à maîtriser la condensation, pour éviter d'installer un pare-vapeur vers l'extérieur.

Une mesure plus avant-gardiste consisterait à poser une membrane de polyéthylène sur la surface du revêtement afin de prévenir à la fois la diffusion de la vapeur vers le revêtement et l'absorption de l'eau par le revêtement. Dans les deux cas, il faudrait veiller à évacuer à l'extérieur toute humidité ainsi condensée.

Dans le but d'établir les valeurs limites appropriées quant à la teneur en humidité et d'observer les caractéristiques d'humectation des revêtements de plâtre protégés et non protégés dans des conditions de condensation, une étude expérimentale a été entreprise à Calgary à la fin de l'hiver et au début

du printemps. L'absence de périodes soutenues de temps froid a empêché la tenue d'essais prolongés sur les conditions de condensation, mais les mesures et observations ont fourni suffisamment de données pour amorcer, à quinze endroits au Canada, une analyse des méthodes proposées à l'aide du logiciel EMPTIED.

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES

Le panneau d'essai de base était un panneau de contre-plaqué pour usage extérieur d'une épaisseur de 18 mm, d'une largeur de 200 mm et d'une hauteur de 2 000 mm, avec un fond de clouage de 18 mm sur 50 mm sur le périmètre et une ligne verticale au centre pour simuler deux espaces séparés de 400 mm de large entre les poteaux. Il a été installé dans une ouverture de porte extérieure de manière à ce que les espaces simulés entre les poteaux puissent donner sur l'intérieur du bâtiment.

Deux échantillons de panneaux en plaques de plâtre de 400 mm sur 2 000 mm ont été posés côte à côte pour couvrir la paroi intérieure du panneau. Initialement, les parois intérieures des deux échantillons ont été laissés exposées. Une chambre d'essais ouverte, munie de chaufferettes électriques et d'un humidificateur à recirculation d'air, a été placée contre les échantillons pour les garder en place et maintenir les conditions du côté chaud à environ 100 % d'humidité relative.

Les premières conditions climatiques étaient de 5 à 7 °C pour la température de l'air du côté extérieur, et de 10 à 15 °C pour les échantillons de plaques de plâtre (espaces entre les poteaux) du côté intérieur. Aucune condensation n'a été observée sur les parois intérieures au cours de la première semaine; un pesage périodique des échantillons n'a révélé aucun changement mesurable non plus. Nous avons donc mis un terme à l'essai et retiré la chambre.

En attendant que le temps se refroidisse à nouveau, un échantillon de plaques de plâtre d'une largeur de 400 mm a été recouvert d'une membrane de polyéthylène de 6 mils, tandis que l'autre a été laissé nu. De plus, une épaisseur de 25 mm d'isolant fibreux (matière lavable pour filtres à air) a été posée sur la paroi intérieure des deux échantillons. Nous estimions ainsi faire baisser la température des parois d'échantillon bien au-dessous de la température du point de rosée que maintient la chambre d'essai. Après toute une semaine où la température de l'air oscillant entre 0 et 5 °C sur la paroi extérieure des échantillons et où les conditions de 10 à 15 °C dans la chambre d'essai frisaient les 100 % d'humidité relative, les gouttelettes d'eau ont été observées sur le polyéthylène, au-dessus de la partie inférieure de l'échantillon protégé; aucune condensation n'était visible en surface de la plaque de plâtre non protégée. Ni l'un ni l'autre des deux échantillons ne plaques de plâtre n'a enregistré de gain de poids mesurable. Au moment où la chambre d'essai a été enlevée et les échantillons retirés pour le pesage, nous avons vu des gouttelettes d'eau sur la paroi intérieure du parement extérieur en contre-plaqué, dans les environs des poteaux recouverts de plaques de plâtre non protégées, mais la paroi intérieure du contre-plaqué dans la même région recouverte de plaques de plâtre avec protection de poly était sèche.

À la lumière de l'information fournie par Jacques Rousseau concernant le programme MOIST de la NBS, il semblait concevable qu'un matériau hautement perméable et absorbant comme une plaque de plâtre n'affiche aucun signe de condensation en surface avant d'être complètement saturé, ou à moins que la température en surface soit de loin inférieure au point de congélation. En outre, la situation pourrait être différente si la plaque de plâtre reposait sur un substrat moins perméable tel l'isolant des revêtements extérieurs dont on se sert dans la conception des murs PEI, ou encore si le papier de revêtement était posé comme on le fait pour une construction à placage de brique.

Pour approfondir l'étude de cet aspect, une couche de peinture acrylique lustrée pour extérieur a été appliquée sur la paroi extérieure des deux échantillons de plaques de plâtre, puis ces derniers ont subi le même essai. Afin de gagner du temps, et comme on ne pensait pas obtenir le temps froid voulu, la membrane de polyéthylène de 6 mils a été remplacée par une feuille de Tyvek, et un dernier essai a été exécuté sur plusieurs jours à des températures similaires aux précédentes. Des gouttelettes sont apparues en surface du Tyvek, au-dessus la partie inférieure de la plaque non protégée, qui d'ailleurs était humide au toucher. Au pesage, les échantillons ont enregistré un gain d'environ 2 % pour la plaque de plâtre protégée par le Tyvek et de 3 % pour la plaque non protégée. Aucune condensation ne s'est manifestée sur la paroi intérieure du parement extérieur en contre-plaqué, entre les poteaux.

Comme il est devenu évident la semaine du 12 avril que le temps ne se refroidirait plus suffisamment à Calgary ce printemps, l'étude à chambre d'essai a été interrompu.

ANALYSE DES RÉSULTATS

La méthode prédictive de condensation normalement employée avec l'exfiltration d'air présume que de la condensation se forme sur une surface dont la température est inférieure à celle du point de rosée de l'air intérieur. On tient aussi pour acquis que, si la température estimative du point de rosée est atteinte à l'intérieur d'un vide d'air ou d'un matériau très perméable comme un isolant fibreux, le plan où se formera la condensation sera situé sur la surface attenante la plus froide. C'est ce qui se produit dans la plupart des cas pour les surfaces non absorbantes, mais les surfaces absorbantes peuvent réagir tout autrement.

Selon Burch et Thomas (1), les matériaux absorbants commencent par imbiber la vapeur d'eau dans l'air suivant l'humidité relative ambiante, jusqu'à concurrence d'une humidité relative de 100 %. Dans le cas des matériaux en bois, c'est ce qu'on appelle le «point de saturation des fibres». Pour ce qui est des plaques de plâtre, on a déterminé que le point d'équilibre entre l'humidité spécifique et 100 % d'humidité relative est de 2,5 à 3 % d'humidité spécifique au poids (2). Le degré d'humidité d'équilibre a aussi été mesuré pour d'autres matériaux de revêtement (2), tout comme leur perméance à la vapeur d'eau sous différents degrés d'humidité relative moyens (3).

Voici deux points saillants de ces études :

- une grande augmentation de perméance pour certains matériaux à une humidité relative élevée et

- la très grande perméance des plaques de plâtre s'est avérée équivalente à celle des membranes pare-air dans le cadre de l'essai.

Des chercheurs du CNRC et du Pennsylvania State College ont fait à peu près les mêmes observations au cours des années 1960 concernant l'effet de l'humidité relative sur la perméance; cet effet a d'ailleurs toujours été reconnu relativement aux différentes valeurs obtenues avec les méthodes normalisées du verre sec et du verre mouillé (4,5).

Nos propres observations laissent croire qu'une plaque de plâtre exposée à un gradient de températures n'affiche pas nécessairement de condensation ou une augmentation appréciable d'humidité même si sa paroi chaude atteint une température inférieure à celle du point de rosée de l'air ambiant. C'est donc dire que ce phénomène est comparable à celui de l'isolant fibreux très perméable dont il est question plus haut, où de la condensation s'était formée sur le plan attenant le plus froid et où toute humidité absorbée avait migré, par diffusion, vers la surface plus froide de condensation.

Dans le premier essai, des plaques de plâtre non protégées séparaient deux vides d'air fermés dont les températures étaient différentes. La paroi chaude a été exposée à de l'air plus chaud presque saturé dans la chambre humidifiée, le côté froid faisant face à une surface peinte en contre-plaqué plus froide au-dessus d'un vide d'air. Le côté chaud de la plaque de plâtre a été exposé à de l'air dont l'humidité relative était de 100 %, alors que le côté chaud a été exposé à de l'air dont l'humidité relative était inférieure à 100 %, la température du point de rosée du vide d'air extérieur étant reliée à celle de la surface intérieure plus froide du contre-plaqué extérieur. Ainsi, l'humidité absorbée du côté chaud de la plaque de plâtre tend à migrer par diffusion à travers le plâtre puis à être absorbée, ou à se condenser sur la paroi intérieure du contre-plaqué extérieur. Le plâtre ne devrait pas atteindre un degré hygrométrique aussi élevé que celui d'équilibre avec 100 % d'humidité relative.

Dans le second essai, le côté chaud d'un échantillon a été recouvert d'une membrane de polyéthylène de 6 mils et les deux spécimens ont été recouverts d'isolant perméable d'un pouce d'épaisseur. Comme prévu, des gouttelettes d'humidité sur la membrane sont venues confirmer que la température de la paroi intérieure des deux échantillons est beaucoup moins élevée que la température du point de rosée de l'air dans la chambre humidifiée. L'absence de condensation visible sur la plaque de plâtre non protégée et le poids stable peuvent être attribués à l'effet siccatif de l'exposition à la surface froide de condensation du contre-plaqué extérieur.

Dans le troisième essai, on a appliqué sur la surface extérieure des deux échantillons une couche de peinture acrylique lustrée pour usage extérieur et remplacé la membrane de polyéthylène par une feuille de Tyvek. Des gouttelettes d'humidité se sont déposées sur la surface du Tyvek et la plaque non protégée était mouillée. Le pesage des plaques a révélé une majoration concomitante de 2 à 3 % de teneur en humidité. La couche de peinture

appliquée à la surface de la plaque de plâtre a vraisemblablement inhibé le dessèchement du contre-plaqué extérieur, voire fourni une surface non absorbante à la condensation. Il se peut que la résistance à la vapeur de la couche de peinture ait maintenu l'humidité relative à 100 % à l'intérieur de la plaque de plâtre, ou encore qu'il y ait eu condensation et que l'humidité aurait été beaucoup plus prononcée si l'essai avait été prolongé. Il apparaît logique que l'humidité se soit accumulée, mais pourquoi y en avait-il sur le Tyvek si perméable ?

Bien que perméable à la vapeur d'eau, le Tyvek n'absorbe pas l'eau à l'état liquide et, sous des conditions de condensation, des gouttelettes d'eau peuvent se former. Avec une surface absorbante, une concentration de vapeur d'eau frisant les 100 % d'humidité relative commence par être absorbée et il n'y a aucune trace d'eau liquide jusqu'à ce que la surface, ou le matériau, atteigne le point de saturation tel que le « point de saturation des fibres » du bois.

Burch et Thomas (1) parlent de « sorption maximale », point auquel l'eau à l'état liquide commence à se manifester dans les pores. Une fois toutes les pores remplies d'eau liquide, elles ont atteint le point de « saturation ». Les valeurs citées pour les conifères résineux utilisés en construction constituent 27 % de la masse à sec pour la sorption maximale, et 230 % pour la saturation. On tient pour acquis de part et d'autres que, pour les produits du bois et à base de bois, la sorption maximale est la quantité maximale d'humidité pouvant être imbibée sans dégradation (1,2). L'IEA a apparemment publié des lignes directrices dont les valeurs sont inférieures (3).

Richards et coll. (3) ont déterminé les isothermes d'absorption pour un certain nombre de matériaux de construction, y compris les plaques de plâtre, selon lesquels le point de sorption maximale serait de 2,5 à 3,5 %. Richards (7) a établi les degrés hygrométriques de saturation suivants : 175 % pour le pin à sucre, 100 % pour le panneau de particules, 130 % pour le contre-plaqué et 100 % pour les plaques de plâtre. Cette valeur est identique à celle obtenue pour la plaque de plâtre lorsqu'on la plonge dans l'eau, comme on le fait communément pour déterminer les caractéristiques d'absorption d'eau de la brique (8).

ÉVALUATION DES PERFORMANCES DE MURS

Certains éléments des critères établis initialement pour l'évaluation des murs revêtus de plaques de plâtre ont été modifiés à la lumière de l'analyse ci-dessus.

- la surface extérieure du revêtement en plaques de plâtre, représentant le papier de revêtement ou la surface intérieure de l'isolant en mousse de polystyrène, a été sélectionnée comme plan de condensation, au lieu de la surface intérieure de la plaque de plâtre

- une perméance de 333 ng/m^{2}x s x Pa (résistance = 0,003 m^2 x s x Pa/ng) a été établie pour le papier de revêtement et l'isolant en mousse de polystyrène

- pour assurer la concordance avec les autres chercheurs, une valeur de sorption maximale de 3 % a été utilisée au lieu de la teneur en humidité de saturation mesurée du revêtement de papier pour indiquer le potentiel de mildiou et de moisissure (la teneur en humidité limite pour la détérioration de la plaque de plâtre est demeurée à 100 %)

- tous les murs étaient censés comporter un pare-vapeur de polyéthylène 6 mils posé sous le revêtement de finition intérieur, dont la perméance est de 3,4 ng/m² x s x Pa (résistance = 0,294 m² x s x Pa/ng)

Deux constructions murales de base, à ossature d'acier avec placage de brique et à ossature d'acier avec parement extérieur isolant (PEI), ont été étudiées à l'aide du logiciel EMPTIED et les données météorologiques regroupées des quinze villes canadiennes.

Pour la première analyse, nous avons mesuré l'épaisseur de l'isolant extérieur (sur la paroi extérieure du revêtement en plaques de plâtre) qui est nécessaire pour maintenir la température de la paroi intérieure du revêtement au-dessus de la température du point de rosée de l'air intérieur. La seconde série visait à déterminer l'étanchéité à l'air requise pour plafonner la teneur maximale en humidité du revêtement en plaques de plâtre à 3 %. Pour la troisième série, il fallait établir l'étanchéité à l'air requise pour plafonner la teneur maximale en humidité du revêtement en plaques de plâtre à 100 %. La valeur limite d'étanchéité à l'air a été exprimée comme une fuite d'air en centimètres carrés par mètre carré (cm²/m²), un mètre carré étant l'aire approximative d'un espace entourant un poteau.

ESTIMATION DES CONDITIONS INTÉRIEURES

Les conditions d'humidité intérieures influent beaucoup sur la résistance à l'humidité de l'enveloppe extérieure, particulièrement lorsqu'il y a exfiltration d'air. On peut s'attendre dans les limites du raisonnable à ce que la température de l'air intérieur demeure presque constante autour des 23 °C, mais l'humidité de l'air intérieur est conditionné par l'équilibre entre l'humidité générée par les activités des occupants à l'intérieur et l'humidité perdue par l'aération de l'extérieur. Comme le taux de production d'humidité dans les habitations est essentiellement fonction du nombre d'occupants, les estimations peuvent être calculées à partir de ce chiffre. La teneur en humidité de l'air de ventilation sera toutefois déterminé par le climat d'une région, tout comme le taux d'absorption de l'humidité pour un taux de ventilation particulier.

Les exigences courantes concernant la ventilation résidentielle semblent s'être arrêtées sur une valeur de 0,3 renouvellement d'air à l'heure. Pour un appartement d'une chambre occupé par deux personnes, le volume d'air serait d'environ 70 x 2,5 = 175 m³; le taux de ventilation pour 0,3 rah serait donc de 52,5 m³/h ou 62,5 kg/h. Avec un taux de production d'air de 0,375 kg/h, l'augmentation du degré hygrométrique de l'air serait de 0,375/62,5 = 0,006 kg d'humidité/kg d'air sec.

D'après cette valeur et les conditions mensuelles extérieures à chaque endroit, les humidités relatives mensuelles intérieures pour une température d'air de 23 °C ont été calculées pour chaque ville, lesquelles sont énumérées au tableau 1. Elles représentent les conditions maximales en été et les conditions minimales en hiver. Les fenêtres sont normalement ouvertes plus souvent en été, de sorte que le taux de ventilation accru fait baisser l'humidité relative intérieure. En hiver, il arrive qu'on emploie un humidificateur pour rendre l'air intérieur moins sec, dans les régions plus froides en particulier.

Aux fins de la présente étude, les valeurs indiquées sont censées représenter les conditions probables d'habitations similaires à chaque endroit, sans intervention de la part des occupants.

MURS À PLACAGE DE BRIQUE

Les propriétés thermiques et hygrométriques d'un mur de base à placage de brique qui ont été incluses dans le logiciel EMPTIED sont indiquées ci-dessous.

	ÉPAISSEUR	RÉSISTANCE THERMIQUE	RÉSISTANCE À LA VAPEUR
SURFACE INTÉRIEURE	10,00	0,12000	0,00000
PLAQUES DE PLÂTRE	12,50	0,08000	0,00033
PARE-VAPEUR	0,15	0,00000	0,29400
ISOLANT	90,00	2,00000	0,00036
REVÊTEMENT DE PLÂTRE	12,50	0,08000	0,00033
ISOLANT	25,00	0,62500	0,00300
VIDE D'AIR	25,00	0,17000	0,00015
BRIQUE	100,00	0,08000	0,02200
SURFACE EXTÉRIEURE	10,00	0,04000	0,00000

Les résultats d'analyses figurent au tableau 2. L'épaisseur requise pour que l'isolation extérieure maintienne la paroi intérieure des plaques de plâtre au-dessus de la température du point de rosée de l'air intérieur, sans isolant entre les poteaux, apparaît dans la première colonne. L'épaisseur requise pour chaque emplacement, avec isolant entre les poteaux, est dans la deuxième colonne.

Signalons que, faute d'isolant entre les poteaux, il suffit d'avoir 25 mm d'isolant extérieur pour prévenir la condensation à tous les endroits sauf Winnipeg, où il en faut 38 mm. Avec de l'isolant entre les poteaux, une épaisseur d'au moins 100 mm d'isolation extérieure est indiquée.

À la troisième et la quatrième colonne, on trouvera l'aire de fuite maximale (cm^2/m^2) permettant au revêtement en plaques de plâtre d'atteindre un degré hygrométrique de 3 %, où les conditions propices à la moisissure ou au mildiou seraient vraisemblablement maintenues. Les deux colonnes représentent des murs dont la région des poteaux est isolée (les murs sans isolant entre les poteaux ont été omis puisque seule Winnipeg aurait sans doute été considérée).

La troisième colonne porte sur les murs comportant 25 mm d'isolant extérieur, et la quatrième ceux ayant 50 mm d'isolant extérieur.

Aux cinquième et sixième colonnes sont énumérées les aires de fuites maximales (cm^2/m^2) permettant à la teneur en humidité de calcul du revêtement en plaques de plâtre d'atteindre 100 %, c'est-à-dire d'être saturées. Ici encore, les deux colonnes portent sur des murs dont la région des poteaux est isolée, la cinquième avec 25 mm d'isolant extérieur et la sixième avec 50 mm.

MURS PEI

Les propriétés thermiques et hygrométriques d'un mur PEI de base qui ont été incluses dans le logiciel EMPTIED sont indiquées ci-dessous.

	ÉPAISSEUR	RÉSISTANCE THERMIQUE	RÉSISTANCE À LA VAPEUR
SURFACE INTÉRIEURE	10,00	0,12000	0,00000
PLAQUES DE PLÂTRE	12,50	0,08000	0,00033
POLYÉTHYLÈNE	0,15	0,00000	0,29400
ISOLANT	90,00	2,00000	0,00036
REVÊTEMENT DE PLÂTRE	12,50	0,08000	0,00033
ISOLANT PRE	25,00	0,62500	0,00300
STUCCO	10,00	0,02000	0,00212
SURFACE EXTÉRIEURE	10,00	0,03000	0,00000

Les résultats d'analyses figurent au tableau 3. L'épaisseur requise pour que l'isolation extérieure maintienne la paroi intérieure des plaques de plâtre au-dessus de la température du point de rosée de l'air intérieur, sans isolant entre les poteaux, apparaît dans la première colonne. L'épaisseur requise pour chaque emplacement, avec isolant entre les poteaux, est dans la deuxième colonne.

Signalons que, faute d'isolant entre les poteaux, il suffit d'avoir 25 mm d'isolant extérieur pour prévenir la condensation à tous les endroits sauf Québec, où il en faut 38 mm. Avec de l'isolant entre les poteaux, une épaisseur d'au moins 100 mm d'isolation extérieure est indiquée, sauf pour Vancouver.

À la troisième et la quatrième colonne, on trouvera l'aire de fuite maximale (cm^2/m^2) permettant au revêtement en plaques de plâtre d'atteindre un degré hygrométrique de 3 %, où les conditions propices à la moisissure ou au mildiou seraient vraisemblablement maintenues. Les deux colonnes représentent des murs dont la région des poteaux est isolée (les murs sans isolant entre les poteaux ont été omis puisque seule Québec aurait sans doute été considérée). La troisième colonne porte sur les murs comportant 25 mm d'isolant extérieur, et la quatrième ceux ayant 50 mm d'isolant extérieur.

Aux cinquième et sixième colonnes sont énumérées les aires de fuites maximales (cm^2/m^2) permettant à la teneur en humidité de calcul du revêtement en plaques de plâtre d'atteindre 100 %, c'est-à-dire d'être saturées. Ici encore, les deux colonnes portent sur des murs dont la région des poteaux est isolée, la cinquième avec 25 mm d'isolant extérieur et la sixième avec 50 mm.

MURS REVÊTUS DE PLAQUES DE PLÂTRE

On pourrait raisonnablement s'attendre à qu'une membrane de polyéthylène sur la paroi intérieure d'un revêtement en plaques de plâtre contrecarre toute augmentation d'humidité provenant de la vapeur d'eau à l'extérieur, et c'est d'ailleurs ce qu'a démontré l'étude expérimentale limitée. On pourrait aussi avancer l'argument qu'une feuille de Tyvek peut inhiber la teneur en humidité des plaques de plâtre exposées à 100 % d'humidité relative du côté chaud. L'étude expérimentale n'a pas duré assez longtemps pour le prouver, mais si le Tyvek était capable d'empêcher l'eau à l'état liquide d'entrer en contact avec la surface absorbante de la plaque de plâtre, il est concevable que sa teneur en humidité soit plafonnée à 3 %, sous cet angle.

Vu ces possibilités, la quantité d'humidité susceptible de s'accumuler sur une membrane protectrice de polyéthylène pourrait être estimée à partir des résultats obtenus en rapport avec les colonnes trois et quatre, et tant pour le polyéthylène que pour le Tyvek dans les situations aux colonnes cinq et six. La plaque de plâtre demeurerait probablement sèche sous le polyéthylène et atteindrait un maximum de 3 % sous le Tyvek. L'accumulation d'humidité représenterait la quantité potentielle d'humidité à évacuer du rail inférieur dans chaque cas.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Le logiciel EMPTIED a servi a évaluer la résistance à l'humidité de murs types à placage de brique et à PEI pour quinze emplacements du Canada. D'après les résultats, lorsque l'espace entre les poteaux a été isolé dans l'un ou l'autre type de mur, la température des plaques de plâtre est susceptible de descendre sous la température du point de rosée intérieure, à tous les endroits, à moins d'une isolation extérieure surabondante. En l'absence d'isolant entre les poteaux, une épaisseur modeste d'isolation extérieure suffit pour maintenir la température du revêtement au-dessus de la température du point de rosée ambiante.

Voici les aires de fuite limites à éviter dans le cas de murs comportant de l'isolant entre les poteaux : 1) teneur en humidité propice à la croissance de moisissure et de mildiou; 2) point de saturation des plaques de plâtre, calculé pour chacun des emplacements. Ces valeurs étaient basées sur les conditions intérieures estimatives d'une habitation particulière, selon un taux continu de ventilation de 0,3 renouvellement d'air à l'heure et les conditions météorologiques moyennes publiées mensuellement pour la ville en question.

Les observations d'expériences ont étayé quelque peu les critères relatifs à l'absorption d'humidité sur lesquels s'appuient les calculs, mais elles ont suscité des questions sur l'hypothèse généralement reçue selon laquelle de la condensation se formerait sur toutes les surfaces dont la température est inférieure à celle du point de rosée de l'air avec lequel elles sont en contact. Conjuguées aux analyses et aux mesures de certains autres chercheurs, les observations qui ont été formulées laissent entendre que les procédés entraînant une accumulation d'humidité sur les éléments dont la température descend sous la température prédite du point de rosée seraient comme suit :

- si la température d'une surface absorbante descend sous celle du point de rosée, elle tend à absorber de la vapeur d'eau, jusqu'à ce qu'elle atteigne l'équilibre hygrométrique avec l'air à 100 % d'humidité relative

- l'humidité relative migre par diffusion ou par d'autres moyens dans le matériau dont la teneur en humidité augmente

- si la surface extérieure est exposée à un composant d'une perméance égale ou supérieure, l'humidité continuera de se diffuser vers l'extérieur, vraisemblablement vers une surface où se maintient une pression de vapeur plus faible. Dans ce cas, il se peut que le matériau n'atteigne jamais le point de « sorption maximale » ou de « saturation des fibres »

- si l'évaporation de la surface extérieure est inhibée par un matériau moins perméable, la teneur en humidité aura tendance à augmenter, pour ultérieurement atteindre ou surpasser le point de « sorption maximale » ou de « saturation des fibres »

- lorsque le matériau atteint le point de « sorption maximale », la condensation sous forme d'eau à l'état liquide pourrait apparaître en surface et accroître davantage la teneur en humidité du matériau, jusqu'au point de « saturation »

- lorsque la température de la surface de condensation est sous le point de congélation, il pourrait se former de la condensation sous forme de givre, même sur des surfaces absorbantes, mais elle sera absorbée et migrera sous forme d'eau liquide lorsque la température dépassera 0 °C.

Il faudrait se pencher sur les répercussions de ces procédés au regard des méthodes courantes de construction des murs revêtus de plaques de plâtre.

Dans les situations où la surface extérieure du revêtement de plâtre est laissée exposée au vide d'air derrière le placage de brique ou le béton préfabriqué, ou lorsque des panneaux d'isolant fibreux très perméables ont été appliqués sans adhésif, les plaques de plâtre ne vont pas forcément devenir trop humides à cause de fuites d'air ou de la diffusion de vapeur de l'intérieur.

Par contre, dans la plupart des murs PEI et à placage de brique, un matériau moins perméable recouvre la surface extérieure du revêtement de plâtre; dans le cas du PEI, il s'agit de l'adhésif et de l'isolant en mousse de polystyrène; pour le placage de brique, il s'agit le plus souvent de papier de revêtement bitumé ou de feutre-toiture n° 15.

La perméance de panneaux de polystyrène expansé PEI d'une épaisseur de 25 mm est de 116 - 336 ng/m² x s x Pa, environ le dixième de celle d'une plaque de plâtre (2 860 ng/m² x s x Pa). D'autres types de murs PEI dotés d'isolation rigide en fibres minérales fixée mécaniquement, au lieu de mousse de polystyrène, peuvent avoir une perméance de 2 450 ng/mg² x s x Pa, qui est équivalente à celle des plaques de plâtre.

Le papier de revêtement bitumé dont on se sert pour les constructions à placage de brique peut avoir une perméance de 190 à 1 160 ng/mg² x s x Pa, et le feutre-toiture n° 15 une perméance de 57 à 320 ng/mg² x s x Pa, valeurs généralement inférieures à celles des plaques de plâtre.

Avec ces matériaux moins perméables posés sur la surface extérieure, la surface intérieure du plâtre commencera à absorber la vapeur de l'air au fur et à mesure qu'augmentera l'humidité relative, et la teneur en humidité augmentera jusqu'à ce que la plaque de plâtre atteigne le point de sorption maximale. Si la température de la surface intérieure est inférieure à la température du point de rosée sous ces conditions, de la condensation pourrait se former à l'état liquide, ce qui majore la teneur en humidité encore davantage jusqu'au point de saturation.

Il pourrait être conclu à partir de cette analyse que les murs recouverts de papier de revêtement ou d'isolant extérieur moins perméable sont plus susceptibles de subir une accumulation d'humidité dans le revêtement en plaques de plâtre que les murs sans papier de revêtement ou recouverts d'isolant extérieur plus perméable.

Comme il a été observé, et conformément à l'analyse précédente, le fait de recouvrir la paroi intérieure des plaques de plâtre d'une membrane de polyéthylène prévient l'absorption d'humidité condensée par le revêtement de plâtre. Si la surface extérieure est exposée à un vide d'air ou de l'isolant perméable, la surface extérieure du revêtement sera portée à se mettre en équilibre avec la pression de vapeur plus faible de l'air extérieur des régions froides du mur, ergo avec une humidité relative inférieure à 100 %.

Si un matériau perméable à la vapeur mais non absorbant comme le Tyvek est appliqué sur la surface intérieure, il protégera sans doute la paroi intérieure du revêtement de l'eau liquide, mais l'humidité relative de la paroi intérieure gravitera autour des 100 % et la plaque de plâtre aura tendance à atteindre un degré hygrométrique proche de la sorption maximale (2,5 à 3 %). L'humidité relative au niveau de la paroi extérieure du revêtement sera fonction de la perméance des matériaux attenants; plus faible avec des matériaux perméables et plus élevée avec des matériaux moins perméables.

Dans ces deux cas, il faut prendre des mesures pour évacuer le liquide condensé à l'extérieur, faute de quoi l'humidité accumulée dans le vide maintiendrait l'humidité relative à 100 % et il y aurait peu d'assèchement même à des températures plus élevées.

Dans le cas d'une construction à placage de brique, des trous d'évacuation dans le rail inférieur permettrait à l'eau de s'échapper sur les solins au-dessus de la cornière d'épaulement, ou encore par des trous d'évacuation sur l'extérieur. Quant aux murs PEI construits sur place, les solins appropriés pourraient être prévus sous le rail inférieur et prolongés jusqu'à un joint horizontal ouvert sur l'extérieur. On pourrait aussi dessiner les panneaux PEI préfabriqués de manière à ce qu'ils contiennent des trous dans le cadre métallique et des solins similaires seraient prolongés jusqu'à un joint horizontal ouvert sur l'extérieur.

Si l'humidité s'accumulait dans le rail inférieur faute de moyen d'évacuation, il y aurait probablement défaillance prématurée du revêtement et du cadre métallique. Par ailleurs, des trous d'évacuation et une protection appropriée de la surface intérieure de revêtement de plâtre permettraient aux murs de bien résister à l'humidité là où il existe des fuites d'air ou des imperfections dans le pare-vapeur.

Il faut aussi reconnaître que, dans les deux systèmes, la membrure extérieure du poteau d'acier à laquelle est fixé le revêtement est également une surface non absorbante, sujette à une accumulation d'humidité en surface. Le panneau risque donc d'être l'objet d'une condensation de vapeur qui, autrement, pourrait se diffuser au travers des plaques de plâtre et qui, sans évacuation, maintiendrait l'humidité à un niveau élevé dans la région des poteaux.

L'ossature métallique est aussi le lieu où circule l'air dans tout l'espace isolé entourant les poteaux. Les poteaux consistent de profilés ouverts dont les bords des « pattes » des membres verticaux sont recourbés vers l'intérieur pour leur donner plus de rigidité. Lorsqu'on aura inséré des nattes isolantes du côté ouvert du poteau, des rigoles verticales en forme de V ont tendance à se former dans l'isolant, ce qui permet à l'air de circuler à l'intérieur de l'isolation (9). Advenant qu'il y ait une ouverture dans le revêtement de finition intérieur vis-à-vis de cet endroit, l'air de la pièce pourrait être sucé dans la région des poteaux et circuler autour de l'isolant, puis prendre contact avec le revêtement et la patte extérieure du poteau.

Il serait nécessaire de réaliser d'autres études expérimentales sur la performance du revêtement en plaques de plâtre sous des conditions de condensation pour valider les procédés d'absorption d'humidité déjà décrits ou confirmer les méthodes de conception proposées. Ces procédés devraient être validés sous des conditions contrôlées, en prévoyant assez de temps pour l'absorption d'humidité et le maintien des températures sous le point de congélation. Tout dépendant de l'issue de ces études, des enquêtes en laboratoire et in situ avec des panneaux grandeur nature de conceptions différentes pourraient être amorcées.

RENVOIS

1. Burch, D.M. et Thomas, W.C., An Analysis of Moisture Accumulation in a Wood-Frame Wall Subjected to Winter Climate, ASHRAE/DOE/BTECC Conference on Thermal Performance of Exterior Envelopes of Buildings V, 7-10 déc. 1992.
2. Richards, R.F., Burch, D.M. et Thomas, W.C., Water Sorption Measurements of Common Building Materials, ASHRAE Transactions, v. 98, partie 2, 1992.
3. Burch, D.M., Thomas, W.C. et Fanney, A.H., Water Vapour Permeability Measurements of Common Building Materials, ASHRAE Transactions, v. 98, partie 2, 1992.
4. Joy, F.A. et Wilson, A.G., Standardization of the Dish Method for Measuring Water Vapour Transmission, vol. 4, Proceedings of International Symposium on Humidity and Moisture, Washington, 1963, ch. 31, p. 259-270 (NRCC 14797).
5. Hutcheon, N.B. et Handegord, G.O., Building Science for a Cold Climate, Construction Technology Centre Atlantic Inc., Fredericton (Nouveau-Brunswick, 1989.
6. Baker, M.C., Decay of Wood, Digests de la construction au Canada 111, Division de la recherche en bâtiment, CNRC, mars 1969.
7. Richards, R.F., Measurements of Moisture Diffusivity for Porous Materials, ASHRAE/DOE/BTECC Conference on Thermal Performance of Exterior Envelopes of Buildings V, 7-10 déc. 1992.
8. Litvan, G.G., Testing the Frost Susceptibility of Bricks, Special Technical Publication 589, ASTM 1975, p. 123-132 (NRCC 14797).
9. Schuyler, G.D. et Solvason, K.R., Effectiveness of Wall Insulation, Thermal Insulation, Materials and Systems for Energy Conservation in the 80's, ASTM, STP 789, 1983, p. 542 - 550.

TABLEAU 1

HUMIDITÉ INTÉRIEURE ESTIMATIVE D'APPARTEMENTS OCCUPÉS

	VIC	VAN	EDM	CAL	RÉG	WIN	THU	TOR	OTT	MON	QUÉ	FRE	CHA	HAL	STJ
JANVIER	47	45	30	31	29	28	29	35	32	32	31	33	35	39	38
FÉVRIER	49	48	32	33	30	29	30	35	33	33	31	33	34	38	37
MARS	48	49	35	35	34	33	34	39	37	37	35	37	38	40	39
AVRIL	52	52	41	39	41	42	40	46	45	44	41	43	43	46	42
MAI	57	59	48	46	50	50	49	57	57	57	52	53	52	54	48
JUIN	63	67	59	55	62	66	62	72	73	74	68	67	66	66	58
JUILLET	68	73	68	62	70	77	73	80	82	84	77	78	79	78	71
AOÛT	69	74	67	61	65	77	72	81	80	82	74	77	79	80	72
SEPTEMBRE	66	69	54	50	53	59	60	70	69	69	63	65	67	73	63
OCTOBRE	59	60	43	41	43	47	48	56	54	54	50	52	55	59	53
NOVEMBRE	52	58	36	35	35	37	39	47	44	44	41	44	47	52	48
DÉCEMBRE	50	54	32	32	31	31	32	38	35	35	33	36	38	42	41

TABLEAU 2

MURS À OSSATURE D'ACIER ET PLACAGE DE BRIQUE

	PAS DE CONDENSATION ISOLANT AUTOUR POTEAUX		TENEUR EN HUMIDITÉ 3% ISOLANT EXTÉRIEUR		TENEUR EN HUMIDITÉ 100% ISOLANT EXTÉRIEUR	
	NON	OUI	25 mm	50 mm	25 mm	50 mm
	ISOLANT EXTÉRIEUR REQUIS		AIRE DE FUITE LIMITE		AIRE DE FUITE LIMITE	
VICTORIA	0 mm	125 mm	0,05	1,5	1,80	47
VANCOUVER	13 mm	125 mm	0,04	0,5	1,60	13
EDMONTON	25 mm	200 mm	0,03	0,21	1,0	6,7
CALGARY	25 mm	200 mm	0,04	0,23	1,25	7,5
RÉGINA	25 mm	200 mm	0,03	0,12	1,0	4,0
WINNIPEG	38 mm	225 mm	0,03	0,13	1,0	4,5
THUNDER BAY	25 mm	200 mm	0,03	0,13	1,0	4,5
TORONTO	25 mm	150 mm	0,05	1,10	1,8	35,0
OTTAWA	13 mm	150 mm	0,03	0,13	1,0	4,3
MONTRÉAL	13 mm	150 mm	0,043	1,2	1,5	35,0
QUÉBEC	13 mm	150 mm	0,023	0,10	0,85	3,25
FRÉDÉRICTON	13 mm	150 mm	0,025	0,11	0,95	3,8
CHARLOTTETOWN	13 mm	125 mm	0,023	0,11	0,86	3,8
HALIFAX	13 mm	125 mm	0,022	0,09	0,86	3,1
SAINT-JEAN	13 mm	100 mm	0,02	0,13	0,82	4,0

TABLEAU 3

MURS À OSSATURE D'ACIER PEI

	PAS DE CONDENSATION ISOLANT AUTOUR POTEAUX		TENEUR EN HUMIDITÉ 3% ISOLANT EXTÉRIEUR		TENEUR EN HUMIDITÉ 100% ISOLANT EXTÉRIEUR	
	NON	OUI	25 mm	50 mm	25 mm	50 mm
	ISOLANT EXTÉRIEUR REQUIS		AIRE DE FUITE LIMITE		AIRE DE FUITE LIMITE	
VICTORIA	13 mm	100 mm	0,03	0,30	1,20	10.0
VANCOUVER	13 mm	75 mm	0,03	0,14	1,10	4.5
EDMONTON	25 mm	175 mm	0,02	0,07	0,75	2.5
CALGARY	25 mm	163 mm	0,03	0,12	0,90	4.2
RÉGINA	25 mm	175 mm	0,03	0,07	0,77	2.5
WINNIPEG	25 mm	200 mm	0,02	0,07	0,77	2.5
THUNDER BAY	25 mm	200 mm	0,02	0,05	0,64	1.7
TORONTO	75 mm	200 mm	0,04	0,90	1,25	17.5
OTTAWA	25 mm	175 mm	0,02	0,08	0,84	2.8
MONTRÉAL	25 mm	175 mm	0,03	0,20	1,05	6.8
QUÉBEC	38 mm	125 mm	0,018	0,06	0,68	2.0
FRÉDÉRICTON	25 mm	125 mm	0,02	0,07	0,78	2.4
CHARLOTTETOWN	25 mm	125 mm	0,02	0,05	0,67	1.87
HALIFAX	0 mm	113 mm	0,016	0,06	0,66	1.7
SAINT-JEAN	13 mm	113 mm	0,015	0,05	0,62	1.72

USERID: printop NODEID: mpc

```
*******  *******   ******  **    ** ******** ******** *******
******** ********  ******  ***   ** ******** ******** ********
**    ** **    **    **    ***   **    **    **    ** **    **
**    ** **    **    **    ****  **    **    **    ** **    **
******** ********    **    ** ** **    **    **    ** ********
*******  *******     **    ** ** **    **    **    ** *******
**       ****        **    **  ****    **    **    ** **
**       ** **       **    **  ****    **    **    ** **
**       **  **      **    **   ***    **    **    ** **
**       **   **   ******  **   ***    **    ******** **
**       **    **  ******  **    **    **    ******** **
```

JOB NAME: DC-9913412 Etude des Performances.jtk
DISTRIBUTION: local

TITLE:

PROGRAMMER:
NAME:
DEPARTMENT:
BUILDING:
ROOM:
ACCOUNT:
ADDRESS:

SPOOLID: 6168900035
PRINTER: IP4000

PRINT DATE: 08/05/1999 19:37 FILE DATE: 08/05/1999 19:37

START

ÉTUDE DES PERFORMANCES DU REVÊTEMENT DE PLÂTRE

par Gustav Handegord

HANDEGORD AND COMPANY INC.
185, chemin Strathcona S.-O.
Calgary (Alberta) T3H 1X9

septembre 1993

Agent du projet à la SCHL: Jacques Rousseau

Ce projet a été réalisé grâce à une contribution financière de la Société canadienne d'hypothèques et de logement, dans le cadre du Programme de subventions de recherche (Dossier n° 6585-H066-2 de la SCHL). Les idées exprimées sont celles de l'auteur et ne représentent pas le point de vue officiel de la SCHL.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	i
RÉSUMÉ	ii
INTRODUCTION	1
ÉTUDES EXPÉRIMENTALES	2
ANALYSE DES RÉSULTATS	3
ÉVALUATION DES PERFORMANCES DE MURS	5
ESTIMATION DES CONDITIONS INTÉRIEURES	6
MURS À PLACAGE DE BRIQUE	7
MURS PEI	8
MURS REVÊTUS DE PLAQUES DE PLÂTRE	9
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	9
RENVOIS	13
TABLEAU 1 HUMIDITÉ INTÉRIEURE ESTIMATIVE D'APPARTEMENTS OCCUPÉS	14
TABLEAU 2 MURS À OSSATURE D'ACIER ET PLACAGE DE BRIQUE	15
TABLEAU 3 MURS À OSSATURE D'ACIER PEI	16

ÉTUDE DES PERFORMANCES DU REVÊTEMENT DE PLÂTRE

SOMMAIRE

Le logiciel EMPTIED a servi à évaluer la résistance à l'humidité de murs types à parement extérieur isolant ou placage de brique (PEI) sous quinze différentes conditions climatiques au Canada. Les conditions intérieures étaient présumées être celles d'un appartement d'une chambre, habité par deux personnes, et ventilé par l'air extérieur au rythme constant de 0,3 renouvellement d'air à l'heure.

D'après les résultats, si l'espace entourant les poteaux comporte une isolation thermique dans l'un ou l'autre de ces types de murs, la température du plâtre tombera vraisemblablement sous le point de rosée intérieur à tous les endroits, à moins d'une isolation surabondante à l'extérieur. En l'absence d'isolation dans l'espace des poteaux, cependant, une quantité moyenne d'isolation extérieure devrait suffire pour maintenir la température du revêtement au-dessus du point de rosée ambiant. Pour les murs dont l'ossature est isolée, avec une isolation extérieure de 25 mm et 50 mm, nous avons cerné, pour chaque ville, les aires de fuite limitant la teneur en humidité du revêtement de plâtre au-dessous du niveau propice à la moisissure et au mildiou, de même qu'aboutissant à la saturation et une éventuelle détérioration structurale.

Une étude expérimentale où des revêtements de plâtre ont été exposés à différentes conditions de condensation sous un gradient de températures a permis d'établir les conditions limitant la teneur en humidité pour ces évaluations, quoiqu'elle ait aussi remis en question l'idée reçue qu'une condensation se produit sur toutes les surfaces dont la température est au-dessous de celle du point de rosée de l'air avec lequel elles entrent en contact. Conjuguées aux analyses et mesures de certains autres chercheurs, les observations qui ont été faites laissent croire que de la condensation se forme sur les surfaces non absorbantes qui sont sous la température du point de rosée, mais pas nécessairement sur les surfaces absorbantes, du moins jusqu'à ce qu'elles atteignent une humidité spécifique équivalente à une humidité relative de 100 %. Elles ouvrent aussi la voie à toutes sortes de possibilités pour la protection du revêtement de plâtre contre la condensation, ainsi que pour la mise au point d'éléments de conception améliorés pour les enveloppes de bâtiment.

ÉTUDE DES PERFORMANCES DU REVÊTEMENT DE PLÂTRE

RÉSUMÉ

Le revêtement de plâtre entrant dans la composition des murs de tours d'habitation recouvertes d'un placage de brique ou d'un PEI a tendance à moisir et, dans certains cas, à se saturer d'eau lorsqu'un isolant est ajouté entre les poteaux d'acier. Ces problèmes surviennent habituellement quand la température du revêtement descend sous le point de rosée de l'air intérieur, et que l'humidité migre et se condense par diffusion de vapeur et exfiltration d'air. Plusieurs méthodes permettent de prévenir ou d'atténuer ces problèmes.

La condensation peut être évitée si le revêtement est maintenu en tout temps à une température supérieure au point de rosée de l'air intérieur. Si l'espace entre les poteaux demeure vide d'isolant, de faibles quantités d'isolant appliqué à l'extérieur du revêtement pourraient suffire, mais s'il se trouve de l'isolant entre les poteaux, l'isolation extérieure risque de devenir prohibitive.

La prolifération de la moisissure pourrait sans doute être évitée si la teneur en humidité du revêtement était maîtrisée. Dans le cas du bois et des produits du bois, on tient généralement pour acquis que le niveau de prolifération à ne pas dépasser correspond au point de saturation des fibres, c'est-à-dire la teneur en humidité atteinte après une exposition continue à de l'air dont l'humidité relative est de 100 %.

De même, si l'humidité qui s'accumule sur le revêtement pouvait être maintenue en-deçà de la quantité requise pour atteindre la saturation complète, il serait vraisemblablement possible de prévenir la détérioration structurale du revêtement.

Une autre méthode consiste à protéger le revêtement de plâtre des effets de la condensation d'humidité sur sa paroi intérieure. Il s'agit de recouvrir cette surface d'une membrane Tyvek ou d'un matériau similaire perméable à la vapeur, mais imperméable à l'eau. Ainsi, la vapeur d'eau peut s'échapper, mais l'humidité condensée ne peut pas être absorbée à la surface du revêtement. Une mesure beaucoup plus avant-gardiste consisterait à poser une membrane de polyéthylène sur la surface du revêtement afin de prévenir à la fois la diffusion de la vapeur vers le revêtement et l'absorption de l'eau par le revêtement. Dans les deux cas, il faudrait veiller à évacuer à l'extérieur toute humidité ainsi condensée.

Dans le but d'établir les valeurs limites appropriées quant à la teneur en humidité et d'observer les caractéristiques d'humectation des revêtements de plâtre protégés et non protégés dans des conditions de condensation, une étude expérimentale a été entreprise à Calgary à la fin de l'hiver et au début du printemps. L'absence de périodes soutenues de temps froid a empêché la tenue d'essais prolongés sur les conditions de condensation, mais les mesures et observations ont fourni suffisamment de données pour amorcer, à quinze endroits au Canada, une analyse des méthodes proposées à l'aide du logiciel EMPTIED.

Les conditions d'analyse intérieures ont été fondées sur les conditions extérieures mensuelles moyennes de chaque ville en supposant un taux de

ventilation de 0,3 renouvellement d'air à l'heure pour un appartement d'une chambre, de 70 m^2, occupé par deux personnes dont les activités génèrent 0,375 kg d'humidité à l'heure. On a tenu pour acquis que la température de l'air intérieur demeurait constante toute l'année à 23 °C.

À partir de cette hypothèse et au moyen des données climatiques regroupées par « classes » pour l'endroit en question, on a fait appel au programme EMPTIED pour estimer l'épaisseur d'isolant extérieur requise pour maintenir la température en surface du revêtement au-dessus du point de rosée, dans l'espoir d'éviter la formation de condensation lorsque l'espace entre les poteaux est isolé ou non isolé. Les aires de fuite limites requises pour maintenir la teneur en humidité du revêtement de plâtre en-deçà du niveau propice à la prolifération de moisissure et du point de saturation ont également été calculées pour les murs à ossature isolée et à isolation extérieure de 25 mm et 50 mm. Ces données sont présentées sous forme de tableau pour chacun des deux types de mur, à savoir le placage de brique et le PEI.

Au cours de l'étude expérimentale, la SCHL a fourni les ouvrages publiés de chercheurs américains dans le domaine de l'analyse de l'humidité dans les murs réalisée au moyen du logiciel MOIST du NIST. Les expériences réalisées aux États-Unis ont confirmé les valeurs limites de teneur en humidité obtenues pour le revêtement de plâtre. De plus, la méthode analytique retenue par les chercheurs américains a contribué à expliquer certaines observations faites lors des expériences de Calgary.

Durant les études de Calgary, aucune condensation n'a été observée sur le revêtement de plâtre non protégé même lorsque son côté chaud a été exposé à de la condensation. En outre, la teneur en humidité du revêtement n'a augmenté de façon notable que lorsqu'un matériau moins perméable a été appliqué contre la surface extérieure plus froide. Dans cette condition particulière, la teneur en humidité de la plaque de plâtre a augmenté, mais seulement jusqu'au point d'équilibre lorsque l'humidité relative atteint 100 %. Sans nécessairement constituer une valeur limite, les conditions climatiques n'ont pas permis de réaliser des essais à long terme. Lorsque les chercheurs ont eu recours à une membrane Tyvek ou de polyéthylène pour protéger la paroi intérieure du revêtement, ils ont observé de la condensation en surface.

Les observations ayant trait au revêtement de plâtre non protégé concordent avec la théorie de la diffusion classique selon laquelle un revêtement de plâtre est à peu près autant perméable à la vapeur d'eau que l'air immobile ou un isolant en fibres minérales et la pression de la vapeur en surface demeure sous le point de saturation de la pression de la vapeur à cet endroit. Dans ces conditions, la continuité du mouvement de la vapeur est maintenue et l'intérieur ou la surface du revêtement de plâtre n'atteint pas le point de condensation. Cependant, si un matériau moins perméable est placé du côté froid du revêtement, la pression de la vapeur à la jonction peut surpasser le point de saturation de la pression de la vapeur et provoquer la formation de condensation. Le même raisonnement pourrait expliquer la présence de condensation sur le revêtement de plâtre protégé par une membrane de polyéthylène, mais non celle observée sur la très perméable membrane Tyvek.

On trouvera une réponse logique dans la méthode analytique adoptée par les chercheurs américains. En effet, ceux-ci ne présument pas que la

condensation se forme sur toute surface lorsque la température de celle-ci atteint un degré inférieur au point de rosée. Si le matériau est de nature non absorbante comme c'est le cas de la membrane Tyvek et du polyéthylène, il y aura condensation. Si, par ailleurs, le matériau utilisé est de nature absorbante, sa teneur en humidité aura d'abord tendance à augmenter jusqu'à atteindre un point d'équilibre avec l'air à 100 % d'humidité relative. L'humidité absorbée migrera alors dans le matériau et la teneur en humidité de ce dernier continuera d'augmenter jusqu'à ce qu'elle atteigne, sur son côté froid, un état d'équilibre avec les conditions prévalant sur cette surface. Si le côté froid est exposé à un espace d'air ou entre en contact avec un matériau tout aussi perméable, l'humidité relative du matériau pourrait ne pas être à 100 % et la diffusion pourrait se poursuivre vers une surface de condensation plus froide. Toutefois, si le côté froid est recouvert d'un matériau moins perméable, la surface externe pourrait atteindre un taux d'humidité relative de 100 % et la teneur en humidité augmenterait davantage. Si la pression de la vapeur est telle que la continuité du mouvement ne peut être préservée, de l'humidité libre pourrait s'accumuler à la jonction et le revêtement de plâtre pourrait finalement devenir saturé.

Cette analyse permet aussi d'expliquer certaines observations dans la pratique. Dans les cas où est survenue une saturation du revêtement de plâtre à l'intérieur des murs recouverts d'un placage de brique, le papier de revêtement était habituellement en cause. Dans les murs à parement extérieur isolant, le revêtement est recouvert d'un isolant en polystyrène expansé. Dans les deux cas, un matériau de plus faible perméance a été appliqué sur la paroi extérieure et une accumulation d'humidité semblerait possible. Cette situation est inhérente aux parements extérieurs isolants, mais l'élimination du papier de revêtement dans les ouvrages comportant un placage de brique pourrait éviter certains problèmes. L'emploi de matériaux à forte perméance comme la membrane Tyvek, au lieu du papier de revêtement, pourrait respecter les principes de la théorie de la diffusion, mais ses caractéristiques de non-absorption pourraient provoquer de la condensation. Ces mêmes phénomènes pourraient favoriser la prolifération de moisissure sur les plaques de plâtre servant de revêtement intérieur.

De plus amples études seront sans doute nécessaires pour déterminer les effets de ces caractéristiques sur l'accumulation d'humidité dans des conditions de régime stable, ainsi que durant une exposition aux intempéries. Des expériences en conditions de régime stable pourraient être menées en vue de déterminer les effets d'une exposition à long terme et de conditions plus rigoureuses soutenues au-dessous du point de congélation. Les essais d'exposition aux intempéries pourraient être les plus utiles pour évaluer la performance de panneaux grandeur nature, surtout en ce qui concerne la protection de la paroi intérieure du revêtement de plâtre ainsi que le drainage du rail intérieur des ossatures d'acier. On prévoit présenter à la SCHL les propositions touchant ces études complémentaires pour qu'elle les considère dans le cadre de son Programme de subventions de recherche.

ÉTUDE DES PERFORMANCES DU REVÊTEMENT DE PLÂTRE

INTRODUCTION

Le revêtement de plâtre entrant dans la composition des murs de tours d'habitation recouvertes d'un placage de brique ou d'un parement extérieur isolant (PEI) a tendance à moisir et, dans certains cas, à se saturer d'eau lorsqu'un isolant est ajouté entre les poteaux d'acier. Ces problèmes surviennent habituellement quand la température du revêtement descend sous le point de rosée de l'air intérieur, et que l'humidité migre et se condense par diffusion de vapeur et exfiltration d'air. Plusieurs méthodes permettent de prévenir ou d'atténuer ces problèmes.

La condensation peut être évitée si le revêtement est maintenu en tout temps à une température supérieure au point de rosée de l'air intérieur. Si l'espace entre les poteaux demeure vide d'isolant, de faibles quantités d'isolant appliqué à l'extérieur du revêtement pourraient suffire, mais s'il se trouve de l'isolant entre les poteaux, l'isolation extérieure risque de devenir prohibitive.

La prolifération de la moisissure pourrait sans doute être évitée si la teneur en humidité du revêtement était maîtrisée. Dans le cas du bois et des produits du bois, on tient généralement pour acquis que le niveau de prolifération à ne pas dépasser correspond au point de saturation des fibres, c'est-à-dire la teneur en humidité atteinte après une exposition continue à de l'air dont l'humidité relative est de 100 %.

De même, si l'humidité qui s'accumule sur le revêtement pouvait être maintenue en-deçà de la quantité requise pour atteindre la saturation complète, il serait vraisemblablement possible de prévenir la détérioration structurale du revêtement.

Une autre méthode consiste à protéger le revêtement de plâtre des effets de la condensation d'humidité sur sa paroi intérieure.

Il s'agit de recouvrir cette surface d'une membrane Tyvek ou d'un matériau similaire perméable à la vapeur, mais imperméable à l'eau. Ainsi, la vapeur d'eau peut s'échapper, mais l'humidité condensée ne peut pas être absorbée à la surface du revêtement. C'est une pratique de longue date qui sert à maîtriser la condensation, pour éviter d'installer un pare-vapeur vers l'extérieur.

Une mesure plus avant-gardiste consisterait à poser une membrane de polyéthylène sur la surface du revêtement afin de prévenir à la fois la diffusion de la vapeur vers le revêtement et l'absorption de l'eau par le revêtement. Dans les deux cas, il faudrait veiller à évacuer à l'extérieur toute humidité ainsi condensée.

Dans le but d'établir les valeurs limites appropriées quant à la teneur en humidité et d'observer les caractéristiques d'humectation des revêtements de plâtre protégés et non protégés dans des conditions de condensation, une étude expérimentale a été entreprise à Calgary à la fin de l'hiver et au début

du printemps. L'absence de périodes soutenues de temps froid a empêché la tenue d'essais prolongés sur les conditions de condensation, mais les mesures et observations ont fourni suffisamment de données pour amorcer, à quinze endroits au Canada, une analyse des méthodes proposées à l'aide du logiciel EMPTIED.

ÉTUDES EXPÉRIMENTALES

Le panneau d'essai de base était un panneau de contre-plaqué pour usage extérieur d'une épaisseur de 18 mm, d'une largeur de 200 mm et d'une hauteur de 2 000 mm, avec un fond de clouage de 18 mm sur 50 mm sur le périmètre et une ligne verticale au centre pour simuler deux espaces séparés de 400 mm de large entre les poteaux. Il a été installé dans une ouverture de porte extérieure de manière à ce que les espaces simulés entre les poteaux puissent donner sur l'intérieur du bâtiment.

Deux échantillons de panneaux en plaques de plâtre de 400 mm sur 2 000 mm ont été posés côte à côte pour couvrir la paroi intérieure du panneau. Initialement, les parois intérieures des deux échantillons ont été laissés exposées. Une chambre d'essais ouverte, munie de chaufferettes électriques et d'un humidificateur à recirculation d'air, a été placée contre les échantillons pour les garder en place et maintenir les conditions du côté chaud à environ 100 % d'humidité relative.

Les premières conditions climatiques étaient de 5 à 7 °C pour la température de l'air du côté extérieur, et de 10 à 15 °C pour les échantillons de plaques de plâtre (espaces entre les poteaux) du côté intérieur. Aucune condensation n'a été observée sur les parois intérieures au cours de la première semaine; un pesage périodique des échantillons n'a révélé aucun changement mesurable non plus. Nous avons donc mis un terme à l'essai et retiré la chambre.

En attendant que le temps se refroidisse à nouveau, un échantillon de plaques de plâtre d'une largeur de 400 mm a été recouvert d'une membrane de polyéthylène de 6 mils, tandis que l'autre a été laissé nu. De plus, une épaisseur de 25 mm d'isolant fibreux (matière lavable pour filtres à air) a été posée sur la paroi intérieure des deux échantillons. Nous estimions ainsi faire baisser la température des parois d'échantillon bien au-dessous de la température du point de rosée que maintient la chambre d'essai. Après toute une semaine où la température de l'air oscillant entre 0 et 5 °C sur la paroi extérieure des échantillons et où les conditions de 10 à 15 °C dans la chambre d'essai frisaient les 100 % d'humidité relative, les gouttelettes d'eau ont été observées sur le polyéthylène, au-dessus de la partie inférieure de l'échantillon protégé; aucune condensation n'était visible en surface de la plaque de plâtre non protégée. Ni l'un ni l'autre des deux échantillons ne plaques de plâtre n'a enregistré de gain de poids mesurable. Au moment où la chambre d'essai a été enlevée et les échantillons retirés pour le pesage, nous avons vu des gouttelettes d'eau sur la paroi intérieure du parement extérieur en contre-plaqué, dans les environs des poteaux recouverts de plaques de plâtre non protégées, mais la paroi intérieure du contre-plaqué dans la même région recouverte de plaques de plâtre avec protection de poly était sèche.

À la lumière de l'information fournie par Jacques Rousseau concernant le programme MOIST de la NBS, il semblait concevable qu'un matériau hautement perméable et absorbant comme une plaque de plâtre n'affiche aucun signe de condensation en surface avant d'être complètement saturé, ou à moins que la température en surface soit de loin inférieure au point de congélation. En outre, la situation pourrait être différente si la plaque de plâtre reposait sur un substrat moins perméable tel l'isolant des revêtements extérieurs dont on se sert dans la conception des murs PEI, ou encore si le papier de revêtement était posé comme on le fait pour une construction à placage de brique.

Pour approfondir l'étude de cet aspect, une couche de peinture acrylique lustrée pour extérieur a été appliquée sur la paroi extérieure des deux échantillons de plaques de plâtre, puis ces derniers ont subi le même essai. Afin de gagner du temps, et comme on ne pensait pas obtenir le temps froid voulu, la membrane de polyéthylène de 6 mils a été remplacée par une feuille de Tyvek, et un dernier essai a été exécuté sur plusieurs jours à des températures similaires aux précédentes. Des gouttelettes sont apparues en surface du Tyvek, au-dessus la partie inférieure de la plaque non protégée, qui d'ailleurs était humide au toucher. Au pesage, les échantillons ont enregistré un gain d'environ 2 % pour la plaque de plâtre protégée par le Tyvek et de 3 % pour la plaque non protégée. Aucune condensation ne s'est manifestée sur la paroi intérieure du parement extérieur en contre-plaqué, entre les poteaux.

Comme il est devenu évident la semaine du 12 avril que le temps ne se refroidirait plus suffisamment à Calgary ce printemps, l'étude à chambre d'essai a été interrompu.

ANALYSE DES RÉSULTATS

La méthode prédictive de condensation normalement employée avec l'exfiltration d'air présume que de la condensation se forme sur une surface dont la température est inférieure à celle du point de rosée de l'air intérieur. On tient aussi pour acquis que, si la température estimative du point de rosée est atteinte à l'intérieur d'un vide d'air ou d'un matériau très perméable comme un isolant fibreux, le plan où se formera la condensation sera situé sur la surface attenante la plus froide. C'est ce qui se produit dans la plupart des cas pour les surfaces non absorbantes, mais les surfaces absorbantes peuvent réagir tout autrement.

Selon Burch et Thomas (1), les matériaux absorbants commencent par imbiber la vapeur d'eau dans l'air suivant l'humidité relative ambiante, jusqu'à concurrence d'une humidité relative de 100 %. Dans le cas des matériaux en bois, c'est ce qu'on appelle le «point de saturation des fibres». Pour ce qui est des plaques de plâtre, on a déterminé que le point d'équilibre entre l'humidité spécifique et 100 % d'humidité relative est de 2,5 à 3 % d'humidité spécifique au poids (2). Le degré d'humidité d'équilibre a aussi été mesuré pour d'autres matériaux de revêtement (2), tout comme leur perméance à la vapeur d'eau sous différents degrés d'humidité relative moyens (3).

Voici deux points saillants de ces études :

- une grande augmentation de perméance pour certains matériaux à une humidité relative élevée et

- la très grande perméance des plaques de plâtre s'est avérée équivalente à celle des membranes pare-air dans le cadre de l'essai.

Des chercheurs du CNRC et du Pennsylvania State College ont fait à peu près les mêmes observations au cours des années 1960 concernant l'effet de l'humidité relative sur la perméance; cet effet a d'ailleurs toujours été reconnu relativement aux différentes valeurs obtenues avec les méthodes normalisées du verre sec et du verre mouillé (4,5).

Nos propres observations laissent croire qu'une plaque de plâtre exposée à un gradient de températures n'affiche pas nécessairement de condensation ou une augmentation appréciable d'humidité même si sa paroi chaude atteint une température inférieure à celle du point de rosée de l'air ambiant. C'est donc dire que ce phénomène est comparable à celui de l'isolant fibreux très perméable dont il est question plus haut, où de la condensation s'était formée sur le plan attenant le plus froid et où toute humidité absorbée avait migré, par diffusion, vers la surface plus froide de condensation.

Dans le premier essai, des plaques de plâtre non protégées séparaient deux vides d'air fermés dont les températures étaient différentes. La paroi chaude a été exposée à de l'air plus chaud presque saturé dans la chambre humidifiée, le côté froid faisant face à une surface peinte en contre-plaqué plus froide au-dessus d'un vide d'air. Le côté chaud de la plaque de plâtre a été exposé à de l'air dont l'humidité relative était de 100 %, alors que le côté chaud a été exposé à de l'air dont l'humidité relative était inférieure à 100 %, la température du point de rosée du vide d'air extérieur étant reliée à celle de la surface intérieure plus froide du contre-plaqué extérieur. Ainsi, l'humidité absorbée du côté chaud de la plaque de plâtre tend à migrer par diffusion à travers le plâtre puis à être absorbée, ou à se condenser sur la paroi intérieure du contre-plaqué extérieur. Le plâtre ne devrait pas atteindre un degré hygrométrique aussi élevé que celui d'équilibre avec 100 % d'humidité relative.

Dans le second essai, le côté chaud d'un échantillon a été recouvert d'une membrane de polyéthylène de 6 mils et les deux spécimens ont été recouverts d'isolant perméable d'un pouce d'épaisseur. Comme prévu, des gouttelettes d'humidité sur la membrane sont venues confirmer que la température de la paroi intérieure des deux échantillons est beaucoup moins élevée que la température du point de rosée de l'air dans la chambre humidifiée. L'absence de condensation visible sur la plaque de plâtre non protégée et le poids stable peuvent être attribués à l'effet siccatif de l'exposition à la surface froide de condensation du contre-plaqué extérieur.

Dans le troisième essai, on a appliqué sur la surface extérieure des deux échantillons une couche de peinture acrylique lustrée pour usage extérieur et remplacé la membrane de polyéthylène par une feuille de Tyvek. Des gouttelettes d'humidité se sont déposées sur la surface du Tyvek et la plaque non protégée était mouillée. Le pesage des plaques a révélé une majoration concomitante de 2 à 3 % de teneur en humidité. La couche de peinture

appliquée à la surface de la plaque de plâtre a vraisemblablement inhibé le dessèchement du contre-plaqué extérieur, voire fourni une surface non absorbante à la condensation. Il se peut que la résistance à la vapeur de la couche de peinture ait maintenu l'humidité relative à 100 % à l'intérieur de la plaque de plâtre, ou encore qu'il y ait eu condensation et que l'humidité aurait été beaucoup plus prononcée si l'essai avait été prolongé. Il apparaît logique que l'humidité se soit accumulée, mais pourquoi y en avait-il sur le Tyvek si perméable ?

Bien que perméable à la vapeur d'eau, le Tyvek n'absorbe pas l'eau à l'état liquide et, sous des conditions de condensation, des gouttelettes d'eau peuvent se former. Avec une surface absorbante, une concentration de vapeur d'eau frisant les 100 % d'humidité relative commence par être absorbée et il n'y a aucune trace d'eau liquide jusqu'à ce que la surface, ou le matériau, atteigne le point de saturation tel que le « point de saturation des fibres » du bois.

Burch et Thomas (1) parlent de « sorption maximale », point auquel l'eau à l'état liquide commence à se manifester dans les pores. Une fois toutes les pores remplies d'eau liquide, elles ont atteint le point de « saturation ». Les valeurs citées pour les conifères résineux utilisés en construction constituent 27 % de la masse à sec pour la sorption maximale, et 230 % pour la saturation. On tient pour acquis de part et d'autres que, pour les produits du bois et à base de bois, la sorption maximale est la quantité maximale d'humidité pouvant être imbibée sans dégradation (1,2). L'IEA a apparemment publié des lignes directrices dont les valeurs sont inférieures (3).

Richards et coll. (3) ont déterminé les isothermes d'absorption pour un certain nombre de matériaux de construction, y compris les plaques de plâtre, selon lesquels le point de sorption maximale serait de 2,5 à 3,5 %. Richards (7) a établi les degrés hygrométriques de saturation suivants : 175 % pour le pin à sucre, 100 % pour le panneau de particules, 130 % pour le contre-plaqué et 100 % pour les plaques de plâtre. Cette valeur est identique à celle obtenue pour la plaque de plâtre lorsqu'on la plonge dans l'eau, comme on le fait communément pour déterminer les caractéristiques d'absorption d'eau de la brique (8).

ÉVALUATION DES PERFORMANCES DE MURS

Certains éléments des critères établis initialement pour l'évaluation des murs revêtus de plaques de plâtre ont été modifiés à la lumière de l'analyse ci-dessus.

- la surface extérieure du revêtement en plaques de plâtre, représentant le papier de revêtement ou la surface intérieure de l'isolant en mousse de polystyrène, a été sélectionnée comme plan de condensation, au lieu de la surface intérieure de la plaque de plâtre

- une perméance de 333 ng/m²x s x Pa (résistance = 0,003 m² x s x Pa/ng) a été établie pour le papier de revêtement et l'isolant en mousse de polystyrène

- pour assurer la concordance avec les autres chercheurs, une valeur de sorption maximale de 3 % a été utilisée au lieu de la teneur en humidité de saturation mesurée du revêtement de papier pour indiquer le potentiel de mildiou et de moisissure (la teneur en humidité limite pour la détérioration de la plaque de plâtre est demeurée à 100 %)

- tous les murs étaient censés comporter un pare-vapeur de polyéthylène 6 mils posé sous le revêtement de finition intérieur, dont la perméance est de 3,4 ng/m² x s x Pa (résistance = 0,294 m² x s x Pa/ng)

Deux constructions murales de base, à ossature d'acier avec placage de brique et à ossature d'acier avec parement extérieur isolant (PEI), ont été étudiées à l'aide du logiciel EMPTIED et les données météorologiques regroupées des quinze villes canadiennes.

Pour la première analyse, nous avons mesuré l'épaisseur de l'isolant extérieur (sur la paroi extérieure du revêtement en plaques de plâtre) qui est nécessaire pour maintenir la température de la paroi intérieure du revêtement au-dessus de la température du point de rosée de l'air intérieur. La seconde série visait à déterminer l'étanchéité à l'air requise pour plafonner la teneur maximale en humidité du revêtement en plaques de plâtre à 3 %. Pour la troisième série, il fallait établir l'étanchéité à l'air requise pour plafonner la teneur maximale en humidité du revêtement en plaques de plâtre à 100 %. La valeur limite d'étanchéité à l'air a été exprimée comme une fuite d'air en centimètres carrés par mètre carré (cm²/m²), un mètre carré étant l'aire approximative d'un espace entourant un poteau.

ESTIMATION DES CONDITIONS INTÉRIEURES

Les conditions d'humidité intérieures influent beaucoup sur la résistance à l'humidité de l'enveloppe extérieure, particulièrement lorsqu'il y a exfiltration d'air. On peut s'attendre dans les limites du raisonnable à ce que la température de l'air intérieur demeure presque constante autour des 23 °C, mais l'humidité de l'air intérieur est conditionné par l'équilibre entre l'humidité générée par les activités des occupants à l'intérieur et l'humidité perdue par l'aération de l'extérieur. Comme le taux de production d'humidité dans les habitations est essentiellement fonction du nombre d'occupants, les estimations peuvent être calculées à partir de ce chiffre. La teneur en humidité de l'air de ventilation sera toutefois déterminé par le climat d'une région, tout comme le taux d'absorption de l'humidité pour un taux de ventilation particulier.

Les exigences courantes concernant la ventilation résidentielle semblent s'être arrêtées sur une valeur de 0,3 renouvellement d'air à l'heure. Pour un appartement d'une chambre occupé par deux personnes, le volume d'air serait d'environ 70 x 2,5 = 175 m³; le taux de ventilation pour 0,3 rah serait donc de 52,5 m³/h ou 62,5 kg/h. Avec un taux de production d'air de 0,375 kg/h, l'augmentation du degré hygrométrique de l'air serait de 0,375/62,5 = 0,006 kg d'humidité/kg d'air sec.

D'après cette valeur et les conditions mensuelles extérieures à chaque endroit, les humidités relatives mensuelles intérieures pour une température d'air de 23 °C ont été calculées pour chaque ville, lesquelles sont énumérées au tableau 1. Elles représentent les conditions maximales en été et les conditions minimales en hiver. Les fenêtres sont normalement ouvertes plus souvent en été, de sorte que le taux de ventilation accru fait baisser l'humidité relative intérieure. En hiver, il arrive qu'on emploie un humidificateur pour rendre l'air intérieur moins sec, dans les régions plus froides en particulier.

Aux fins de la présente étude, les valeurs indiquées sont censées représenter les conditions probables d'habitations similaires à chaque endroit, sans intervention de la part des occupants.

MURS À PLACAGE DE BRIQUE

Les propriétés thermiques et hygrométriques d'un mur de base à placage de brique qui ont été incluses dans le logiciel EMPTIED sont indiquées ci-dessous.

	ÉPAISSEUR	RÉSISTANCE THERMIQUE	RÉSISTANCE À LA VAPEUR
SURFACE INTÉRIEURE	10,00	0,12000	0,00000
PLAQUES DE PLÂTRE	12,50	0,08000	0,00033
PARE-VAPEUR	0,15	0,00000	0,29400
ISOLANT	90,00	2,00000	0,00036
REVÊTEMENT DE PLÂTRE	12,50	0,08000	0,00033
ISOLANT	25,00	0,62500	0,00300
VIDE D'AIR	25,00	0,17000	0,00015
BRIQUE	100,00	0,08000	0,02200
SURFACE EXTÉRIEURE	10,00	0,04000	0,00000

Les résultats d'analyses figurent au tableau 2. L'épaisseur requise pour que l'isolation extérieure maintienne la paroi intérieure des plaques de plâtre au-dessus de la température du point de rosée de l'air intérieur, sans isolant entre les poteaux, apparaît dans la première colonne. L'épaisseur requise pour chaque emplacement, avec isolant entre les poteaux, est dans la deuxième colonne.

Signalons que, faute d'isolant entre les poteaux, il suffit d'avoir 25 mm d'isolant extérieur pour prévenir la condensation à tous les endroits sauf Winnipeg, où il en faut 38 mm. Avec de l'isolant entre les poteaux, une épaisseur d'au moins 100 mm d'isolation extérieure est indiquée.

À la troisième et la quatrième colonne, on trouvera l'aire de fuite maximale (cm^2/m^2) permettant au revêtement en plaques de plâtre d'atteindre un degré hygrométrique de 3 %, où les conditions propices à la moisissure ou au mildiou seraient vraisemblablement maintenues. Les deux colonnes représentent des murs dont la région des poteaux est isolée (les murs sans isolant entre les poteaux ont été omis puisque seule Winnipeg aurait sans doute été considérée).

La troisième colonne porte sur les murs comportant 25 mm d'isolant extérieur, et la quatrième ceux ayant 50 mm d'isolant extérieur.

Aux cinquième et sixième colonnes sont énumérées les aires de fuites maximales (cm^2/m^2) permettant à la teneur en humidité de calcul du revêtement en plaques de plâtre d'atteindre 100 %, c'est-à-dire d'être saturées. Ici encore, les deux colonnes portent sur des murs dont la région des poteaux est isolée, la cinquième avec 25 mm d'isolant extérieur et la sixième avec 50 mm.

MURS PEI

Les propriétés thermiques et hygrométriques d'un mur PEI de base qui ont été incluses dans le logiciel EMPTIED sont indiquées ci-dessous.

	ÉPAISSEUR	RÉSISTANCE THERMIQUE	RÉSISTANCE À LA VAPEUR
SURFACE INTÉRIEURE	10,00	0,12000	0,00000
PLAQUES DE PLÂTRE	12,50	0,08000	0,00033
POLYÉTHYLÈNE	0,15	0,00000	0,29400
ISOLANT	90,00	2,00000	0,00036
REVÊTEMENT DE PLÂTRE	12,50	0,08000	0,00033
ISOLANT PRE	25,00	0,62500	0,00300
STUCCO	10,00	0,02000	0,00212
SURFACE EXTÉRIEURE	10,00	0,03000	0,00000

Les résultats d'analyses figurent au tableau 3. L'épaisseur requise pour que l'isolation extérieure maintienne la paroi intérieure des plaques de plâtre au-dessus de la température du point de rosée de l'air intérieur, sans isolant entre les poteaux, apparaît dans la première colonne. L'épaisseur requise pour chaque emplacement, avec isolant entre les poteaux, est dans la deuxième colonne.

Signalons que, faute d'isolant entre les poteaux, il suffit d'avoir 25 mm d'isolant extérieur pour prévenir la condensation à tous les endroits sauf Québec, où il en faut 38 mm. Avec de l'isolant entre les poteaux, une épaisseur d'au moins 100 mm d'isolation extérieure est indiquée, sauf pour Vancouver.

À la troisième et la quatrième colonne, on trouvera l'aire de fuite maximale (cm^2/m^2) permettant au revêtement en plaques de plâtre d'atteindre un degré hygrométrique de 3 %, où les conditions propices à la moisissure ou au mildiou seraient vraisemblablement maintenues. Les deux colonnes représentent des murs dont la région des poteaux est isolée (les murs sans isolant entre les poteaux ont été omis puisque seule Québec aurait sans doute été considérée). La troisième colonne porte sur les murs comportant 25 mm d'isolant extérieur, et la quatrième ceux ayant 50 mm d'isolant extérieur.

Aux cinquième et sixième colonnes sont énumérées les aires de fuites maximales (cm^2/m^2) permettant à la teneur en humidité de calcul du revêtement en plaques de plâtre d'atteindre 100 %, c'est-à-dire d'être saturées. Ici encore, les deux colonnes portent sur des murs dont la région des poteaux est isolée, la cinquième avec 25 mm d'isolant extérieur et la sixième avec 50 mm.

MURS REVÊTUS DE PLAQUES DE PLÂTRE

On pourrait raisonnablement s'attendre à qu'une membrane de polyéthylène sur la paroi intérieure d'un revêtement en plaques de plâtre contrecarre toute augmentation d'humidité provenant de la vapeur d'eau à l'extérieur, et c'est d'ailleurs ce qu'a démontré l'étude expérimentale limitée. On pourrait aussi avancer l'argument qu'une feuille de Tyvek peut inhiber la teneur en humidité des plaques de plâtre exposées à 100 % d'humidité relative du côté chaud. L'étude expérimentale n'a pas duré assez longtemps pour le prouver, mais si le Tyvek était capable d'empêcher l'eau à l'état liquide d'entrer en contact avec la surface absorbante de la plaque de plâtre, il est concevable que sa teneur en humidité soit plafonnée à 3 %, sous cet angle.

Vu ces possibilités, la quantité d'humidité susceptible de s'accumuler sur une membrane protectrice de polyéthylène pourrait être estimée à partir des résultats obtenus en rapport avec les colonnes trois et quatre, et tant pour le polyéthylène que pour le Tyvek dans les situations aux colonnes cinq et six. La plaque de plâtre demeurerait probablement sèche sous le polyéthylène et atteindrait un maximum de 3 % sous le Tyvek. L'accumulation d'humidité représenterait la quantité potentielle d'humidité à évacuer du rail inférieur dans chaque cas.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Le logiciel EMPTIED a servi a évaluer la résistance à l'humidité de murs types à placage de brique et à PEI pour quinze emplacements du Canada. D'après les résultats, lorsque l'espace entre les poteaux a été isolé dans l'un ou l'autre type de mur, la température des plaques de plâtre est susceptible de descendre sous la température du point de rosée intérieure, à tous les endroits, à moins d'une isolation extérieure surabondante. En l'absence d'isolant entre les poteaux, une épaisseur modeste d'isolation extérieure suffit pour maintenir la température du revêtement au-dessus de la température du point de rosée ambiante.

Voici les aires de fuite limites à éviter dans le cas de murs comportant de l'isolant entre les poteaux : 1) teneur en humidité propice à la croissance de moisissure et de mildiou; 2) point de saturation des plaques de plâtre, calculé pour chacun des emplacements. Ces valeurs étaient basées sur les conditions intérieures estimatives d'une habitation particulière, selon un taux continu de ventilation de 0,3 renouvellement d'air à l'heure et les conditions météorologiques moyennes publiées mensuellement pour la ville en question.

Les observations d'expériences ont étayé quelque peu les critères relatifs à l'absorption d'humidité sur lesquels s'appuient les calculs, mais elles ont suscité des questions sur l'hypothèse généralement reçue selon laquelle de la condensation se formerait sur toutes les surfaces dont la température est inférieure à celle du point de rosée de l'air avec lequel elles sont en contact. Conjuguées aux analyses et aux mesures de certains autres chercheurs, les observations qui ont été formulées laissent entendre que les procédés entraînant une accumulation d'humidité sur les éléments dont la température descend sous la température prédite du point de rosée seraient comme suit :

- si la température d'une surface absorbante descend sous celle du point de rosée, elle tend à absorber de la vapeur d'eau, jusqu'à ce qu'elle atteigne l'équilibre hygrométrique avec l'air à 100 % d'humidité relative

- l'humidité relative migre par diffusion ou par d'autres moyens dans le matériau dont la teneur en humidité augmente

- si la surface extérieure est exposée à un composant d'une perméance égale ou supérieure, l'humidité continuera de se diffuser vers l'extérieur, vraisemblablement vers une surface où se maintient une pression de vapeur plus faible. Dans ce cas, il se peut que le matériau n'atteigne jamais le point de « sorption maximale » ou de « saturation des fibres »

- si l'évaporation de la surface extérieure est inhibée par un matériau moins perméable, la teneur en humidité aura tendance à augmenter, pour ultérieurement atteindre ou surpasser le point de « sorption maximale » ou de « saturation des fibres »

- lorsque le matériau atteint le point de « sorption maximale », la condensation sous forme d'eau à l'état liquide pourrait apparaître en surface et accroître davantage la teneur en humidité du matériau, jusqu'au point de « saturation »

- lorsque la température de la surface de condensation est sous le point de congélation, il pourrait se former de la condensation sous forme de givre, même sur des surfaces absorbantes, mais elle sera absorbée et migrera sous forme d'eau liquide lorsque la température dépassera 0 °C.

Il faudrait se pencher sur les répercussions de ces procédés au regard des méthodes courantes de construction des murs revêtus de plaques de plâtre.

Dans les situations où la surface extérieure du revêtement de plâtre est laissée exposée au vide d'air derrière le placage de brique ou le béton préfabriqué, ou lorsque des panneaux d'isolant fibreux très perméables ont été appliqués sans adhésif, les plaques de plâtre ne vont pas forcément devenir trop humides à cause de fuites d'air ou de la diffusion de vapeur de l'intérieur.

Par contre, dans la plupart des murs PEI et à placage de brique, un matériau moins perméable recouvre la surface extérieure du revêtement de plâtre; dans le cas du PEI, il s'agit de l'adhésif et de l'isolant en mousse de polystyrène; pour le placage de brique, il s'agit le plus souvent de papier de revêtement bitumé ou de feutre-toiture n° 15.

La perméance de panneaux de polystyrène expansé PEI d'une épaisseur de 25 mm est de 116 - 336 ng/m² x s x Pa, environ le dixième de celle d'une plaque de plâtre (2 860 ng/m² x s x Pa). D'autres types de murs PEI dotés d'isolation rigide en fibres minérales fixée mécaniquement, au lieu de mousse de polystyrène, peuvent avoir une perméance de 2 450 ng/mg² x s x Pa, qui est équivalente à celle des plaques de plâtre.

Le papier de revêtement bitumé dont on se sert pour les constructions à placage de brique peut avoir une perméance de 190 à 1 160 ng/mg² x s x Pa, et le feutre-toiture n° 15 une perméance de 57 à 320 ng/mg² x s x Pa, valeurs généralement inférieures à celles des plaques de plâtre.

Avec ces matériaux moins perméables posés sur la surface extérieure, la surface intérieure du plâtre commencera à absorber la vapeur de l'air au fur et à mesure qu'augmentera l'humidité relative, et la teneur en humidité augmentera jusqu'à ce que la plaque de plâtre atteigne le point de sorption maximale. Si la température de la surface intérieure est inférieure à la température du point de rosée sous ces conditions, de la condensation pourrait se former à l'état liquide, ce qui majore la teneur en humidité encore davantage jusqu'au point de saturation.

Il pourrait être conclu à partir de cette analyse que les murs recouverts de papier de revêtement ou d'isolant extérieur moins perméable sont plus susceptibles de subir une accumulation d'humidité dans le revêtement en plaques de plâtre que les murs sans papier de revêtement ou recouverts d'isolant extérieur plus perméable.

Comme il a été observé, et conformément à l'analyse précédente, le fait de recouvrir la paroi intérieure des plaques de plâtre d'une membrane de polyéthylène prévient l'absorption d'humidité condensée par le revêtement de plâtre. Si la surface extérieure est exposée à un vide d'air ou de l'isolant perméable, la surface extérieure du revêtement sera portée à se mettre en équilibre avec la pression de vapeur plus faible de l'air extérieur des régions froides du mur, ergo avec une humidité relative inférieure à 100 %.

Si un matériau perméable à la vapeur mais non absorbant comme le Tyvek est appliqué sur la surface intérieure, il protégera sans doute la paroi intérieure du revêtement de l'eau liquide, mais l'humidité relative de la paroi intérieure gravitera autour des 100 % et la plaque de plâtre aura tendance à atteindre un degré hygrométrique proche de la sorption maximale (2,5 à 3 %). L'humidité relative au niveau de la paroi extérieure du revêtement sera fonction de la perméance des matériaux attenants; plus faible avec des matériaux perméables et plus élevée avec des matériaux moins perméables.

Dans ces deux cas, il faut prendre des mesures pour évacuer le liquide condensé à l'extérieur, faute de quoi l'humidité accumulée dans le vide maintiendrait l'humidité relative à 100 % et il y aurait peu d'assèchement même à des températures plus élevées.

Dans le cas d'une construction à placage de brique, des trous d'évacuation dans le rail inférieur permettrait à l'eau de s'échapper sur les solins au-dessus de la cornière d'épaulement, ou encore par des trous d'évacuation sur l'extérieur. Quant aux murs PEI construits sur place, les solins appropriés pourraient être prévus sous le rail inférieur et prolongés jusqu'à un joint horizontal ouvert sur l'extérieur. On pourrait aussi dessiner les panneaux PEI préfabriqués de manière à ce qu'ils contiennent des trous dans le cadre métallique et des solins similaires seraient prolongés jusqu'à un joint horizontal ouvert sur l'extérieur.

Si l'humidité s'accumulait dans le rail inférieur faute de moyen d'évacuation, il y aurait probablement défaillance prématurée du revêtement et du cadre métallique. Par ailleurs, des trous d'évacuation et une protection appropriée de la surface intérieure de revêtement de plâtre permettraient aux murs de bien résister à l'humidité là où il existe des fuites d'air ou des imperfections dans le pare-vapeur.

Il faut aussi reconnaître que, dans les deux systèmes, la membrure extérieure du poteau d'acier à laquelle est fixé le revêtement est également une surface non absorbante, sujette à une accumulation d'humidité en surface. Le panneau risque donc d'être l'objet d'une condensation de vapeur qui, autrement, pourrait se diffuser au travers des plaques de plâtre et qui, sans évacuation, maintiendrait l'humidité à un niveau élevé dans la région des poteaux.

L'ossature métallique est aussi le lieu où circule l'air dans tout l'espace isolé entourant les poteaux. Les poteaux consistent de profilés ouverts dont les bords des « pattes » des membres verticaux sont recourbés vers l'intérieur pour leur donner plus de rigidité. Lorsqu'on aura inséré des nattes isolantes du côté ouvert du poteau, des rigoles verticales en forme de V ont tendance à se former dans l'isolant, ce qui permet à l'air de circuler à l'intérieur de l'isolation (9). Advenant qu'il y ait une ouverture dans le revêtement de finition intérieur vis-à-vis de cet endroit, l'air de la pièce pourrait être sucé dans la région des poteaux et circuler autour de l'isolant, puis prendre contact avec le revêtement et la patte extérieure du poteau.

Il serait nécessaire de réaliser d'autres études expérimentales sur la performance du revêtement en plaques de plâtre sous des conditions de condensation pour valider les procédés d'absorption d'humidité déjà décrits ou confirmer les méthodes de conception proposées. Ces procédés devraient être validés sous des conditions contrôlées, en prévoyant assez de temps pour l'absorption d'humidité et le maintien des températures sous le point de congélation. Tout dépendant de l'issue de ces études, des enquêtes en laboratoire et in situ avec des panneaux grandeur nature de conceptions différentes pourraient être amorcées.

RENVOIS

1. Burch, D.M. et Thomas, W.C., An Analysis of Moisture Accumulation in a Wood-Frame Wall Subjected to Winter Climate, ASHRAE/DOE/BTECC Conference on Thermal Performance of Exterior Envelopes of Buildings V, 7-10 déc. 1992.
2. Richards, R.F., Burch, D.M. et Thomas, W.C., Water Sorption Measurements of Common Building Materials, ASHRAE Transactions, v. 98, partie 2, 1992.
3. Burch, D.M., Thomas, W.C. et Fanney, A.H., Water Vapour Permeability Measurements of Common Building Materials, ASHRAE Transactions, v. 98, partie 2, 1992.
4. Joy, F.A. et Wilson, A.G., Standardization of the Dish Method for Measuring Water Vapour Transmission, vol. 4, Proceedings of International Symposium on Humidity and Moisture, Washington, 1963, ch. 31, p. 259-270 (NRCC 14797).
5. Hutcheon, N.B. et Handegord, G.O., Building Science for a Cold Climate, Construction Technology Centre Atlantic Inc., Fredericton (Nouveau-Brunswick, 1989.
6. Baker, M.C., Decay of Wood, Digests de la construction au Canada 111, Division de la recherche en bâtiment, CNRC, mars 1969.
7. Richards, R.F., Measurements of Moisture Diffusivity for Porous Materials, ASHRAE/DOE/BTECC Conference on Thermal Performance of Exterior Envelopes of Buildings V, 7-10 déc. 1992.
8. Litvan, G.G., Testing the Frost Susceptibility of Bricks, Special Technical Publication 589, ASTM 1975, p. 123-132 (NRCC 14797).
9. Schuyler, G.D. et Solvason, K.R., Effectiveness of Wall Insulation, Thermal Insulation, Materials and Systems for Energy Conservation in the 80's, ASTM, STP 789, 1983, p. 542 - 550.

TABLEAU 1

HUMIDITÉ INTÉRIEURE ESTIMATIVE D'APPARTEMENTS OCCUPÉS

	VIC	VAN	EDM	CAL	RÉG	WIN	THU	TOR	OTT	MON	QUÉ	FRE	CHA	HAL	STJ
JANVIER	47	45	30	31	29	28	29	35	32	32	31	33	35	39	38
FÉVRIER	49	48	32	33	30	29	30	35	33	33	31	33	34	38	37
MARS	48	49	35	35	34	33	34	39	37	37	35	37	38	40	39
AVRIL	52	52	41	39	41	42	40	46	45	44	41	43	43	46	42
MAI	57	59	48	46	50	50	49	57	57	57	52	53	52	54	48
JUIN	63	67	59	55	62	66	62	72	73	74	68	67	66	66	58
JUILLET	68	73	68	62	70	77	73	80	82	84	77	78	79	78	71
AOÛT	69	74	67	61	65	77	72	81	80	82	74	77	79	80	72
SEPTEMBRE	66	69	54	50	53	59	60	70	69	69	63	65	67	73	63
OCTOBRE	59	60	43	41	43	47	48	56	54	54	50	52	55	59	53
NOVEMBRE	52	58	36	35	35	37	39	47	44	44	41	44	47	52	48
DÉCEMBRE	50	54	32	32	31	31	32	38	35	35	33	36	38	42	41

TABLEAU 2

MURS À OSSATURE D'ACIER ET PLACAGE DE BRIQUE

	PAS DE CONDENSATION ISOLANT AUTOUR POTEAUX		TENEUR EN HUMIDITÉ 3% ISOLANT EXTÉRIEUR		TENEUR EN HUMIDITÉ 100% ISOLANT EXTÉRIEUR	
	NON	OUI	25 mm	50 mm	25 mm	50 mm
	ISOLANT EXTÉRIEUR REQUIS		AIRE DE FUITE LIMITE		AIRE DE FUITE LIMITE	
VICTORIA	0 mm	125 mm	0,05	1,5	1,80	47
VANCOUVER	13 mm	125 mm	0,04	0,5	1,60	13
EDMONTON	25 mm	200 mm	0,03	0,21	1,0	6,7
CALGARY	25 mm	200 mm	0,04	0,23	1,25	7,5
RÉGINA	25 mm	200 mm	0,03	0,12	1,0	4,0
WINNIPEG	38 mm	225 mm	0,03	0,13	1,0	4,5
THUNDER BAY	25 mm	200 mm	0,03	0,13	1,0	4,5
TORONTO	25 mm	150 mm	0,05	1,10	1,8	35,0
OTTAWA	13 mm	150 mm	0,03	0,13	1,0	4,3
MONTRÉAL	13 mm	150 mm	0,043	1,2	1,5	35,0
QUÉBEC	13 mm	150 mm	0,023	0,10	0,85	3,25
FRÉDÉRICTON	13 mm	150 mm	0,025	0,11	0,95	3,8
CHARLOTTETOWN	13 mm	125 mm	0,023	0,11	0,86	3,8
HALIFAX	13 mm	125 mm	0,022	0,09	0,86	3,1
SAINT-JEAN	13 mm	100 mm	0,02	0,13	0,82	4,0

TABLEAU 3

MURS À OSSATURE D'ACIER PEI

	PAS DE CONDENSATION ISOLANT AUTOUR POTEAUX		TENEUR EN HUMIDITÉ 3% ISOLANT EXTÉRIEUR		TENEUR EN HUMIDITÉ 100% ISOLANT EXTÉRIEUR	
	NON	OUI	25 mm	50 mm	25 mm	50 mm
	ISOLANT EXTÉRIEUR REQUIS		AIRE DE FUITE LIMITE		AIRE DE FUITE LIMITE	
VICTORIA	13 mm	100 mm	0,03	0,30	1,20	10.0
VANCOUVER	13 mm	75 mm	0,03	0,14	1,10	4.5
EDMONTON	25 mm	175 mm	0,02	0,07	0,75	2.5
CALGARY	25 mm	163 mm	0,03	0,12	0,90	4.2
RÉGINA	25 mm	175 mm	0,03	0,07	0,77	2.5
WINNIPEG	25 mm	200 mm	0,02	0,07	0,77	2.5
THUNDER BAY	25 mm	200 mm	0,02	0,05	0,64	1.7
TORONTO	75 mm	200 mm	0,04	0,90	1,25	17.5
OTTAWA	25 mm	175 mm	0,02	0,08	0,84	2.8
MONTRÉAL	25 mm	175 mm	0,03	0,20	1,05	6.8
QUÉBEC	38 mm	125 mm	0,018	0,06	0,68	2.0
FRÉDÉRICTON	25 mm	125 mm	0,02	0,07	0,78	2.4
CHARLOTTETOWN	25 mm	125 mm	0,02	0,05	0,67	1.87
HALIFAX	0 mm	113 mm	0,016	0,06	0,66	1.7
SAINT-JEAN	13 mm	113 mm	0,015	0,05	0,62	1.72

USERID: printop NODEID: mpc

```
*******  *******   ******  **    ** ******** ******** *******
******** ********  ******  ***   ** ******** ******** ********
**    ** **    **    **    ***   **    **    **    ** **    **
**    ** **    **    **    ****  **    **    **    ** **    **
**    ** **    **    **    ****  **    **    **    ** **    **
******** ********    **    ** ** **    **    **    ** ********
*******  *******     **    ** ** **    **    **    ** *******
**       ****        **    **  ****    **    **    ** **
**       ** **       **    **  ****    **    **    ** **
**       **  **      **    **   ***    **    **    ** **
**       **   **   ******  **   ***    **    ******** **
**       **    **  ******  **    **    **    ******** **
```

JOB NAME: DC-9913412 Etude des Performances.jtk
DISTRIBUTION: local

TITLE:

PROGRAMMER:
NAME:
DEPARTMENT:
BUILDING:
ROOM:
ACCOUNT:
ADDRESS:

SPOOLID: 6168900035
PRINTER: IP4000

PRINT DATE: 08/05/1999 19:37 FILE DATE: 08/05/1999 19:37

END