

PARE-VAPEURS POUR LA PROTECTION DE L'ENVELOPPE DES BÂTIMENTS CONTRE UN EXCÈS D'HUMIDITÉ

Hartwig M. Kuenzel
Fraunhofer-Institut Bauphysik, Holzkirchen RFA
kuenzel@hoki.ibp.fhg.de

RÉSUMÉ

Des pare-vapeurs qui permettent le séchage de l'enveloppe vers l'intérieur en utilisant différents effets ont été développés et utilisés dans la pratique. Deux de ces pare-vapeurs et leur fonctionnement sont présentés, le pare-vapeur actif ou perméable à l'eau et le pare-vapeur adaptative avec une perméance variable. Ces pare-vapeurs ont été testés dans des bâtiments d'essai. Les résultats montrent que des toits équipés avec ces pare-vapeurs sont capables de tolérer des teneurs en eau initiales élevées sans provoquer de problèmes d'humidité graves. Cependant, pour les parois le pare-vapeur active est moins efficace que le pare-vapeur adaptative.

Mots-clés: pare-vapeur, perméable à l'eau, adaptative, perméance variable, séchage, enveloppe, bâtiment, humidité.

INTRODUCTION

Aujourd'hui, certains concepts de protection contre l'humidité doivent être remis en question. Par exemple, l'étanchéité contre la diffusion de vapeur de toutes les faces de certains composants du bâtiment a entraîné par le passé de nombreux dommages car en pratique, on n'a pas pris suffisamment en compte certains risques de pénétration d'humidité pendant et après la période de construction. En effet, des composants en équilibre avec l'air ambiant (reconnus comme « secs ») contiennent souvent plusieurs litres d'eau par m², en raison de leur capacité de sorption. Par conséquent, même dans le cas d'une installation très soignée du pare-vapeur, on ne peut éviter un apport d'humidité lors de l'intégration de tels composants dans la construction, par évaporation de la vapeur d'eau. A cela s'ajoutent souvent des

pénétrations de vapeur par convection au niveau de petits défauts qui peuvent entraîner une accumulation locale d'humidité. Comme les vrais pare-vapeurs sont pratiquement étanches à l'humidité dans les deux sens, ils ne permettent aucun séchage et cette particularité peut transformer des petits défauts en grands dommages. Dans la suite de ce document, on expliquera dans quelles conditions certains types de pare-vapeurs sont des solutions plus intéressantes pour améliorer le séchage, il s'agit des pare-vapeurs « adaptatifs » et des pare-vapeurs « actifs ». Nous présenterons aussi des essais réalisés en extérieur et les résultats obtenus permettent de donner des recommandations très utiles pour la pratique.

COMPORTEMENT INSTATIONNAIRE CONCERNANT LA TEMPÉRATURE ET L'HUMIDITÉ DE COMPOSANTS EXTÉRIEURS DE BÂTIMENTS

La fonction primordiale de l'enveloppe des bâtiments est la protection des locaux et des individus contre les intempéries. En plus des précipitations et du vent, qui ne sont présents que de manière sporadique, il s'agit avant tout du rayonnement solaire et des caractéristiques de l'air extérieur. La Figure 1 décrit de manière schématique les échanges hygro-thermiques et leurs directions respectives dans le cas d'un toit incliné. Sur la face extérieure, la plupart des transferts dépendent des variations journalières et sur la face interne, des variations saisonnières; ces variations entraînent des changements de direction des flux de vapeur. Durant la journée, la couverture du toit s'échauffe à cause du rayonnement solaire, ce qui entraîne une montée de la température jusqu'à atteindre un équilibre avec l'échange de chaleur vers l'intérieur, la ré-émission par rayonnement à grandes ondes vers l'extérieur, la convection et éventuellement l'effet de température latent dû au changement de phase (évaporation des précipitations ou fonte des neiges). Avant le coucher du soleil, lorsque le rayonnement solaire diminue, le rayonnement à grandes ondes surtout présent lors des journées très claires entraîne un net refroidissement et par conséquent l'apparition d'eau sur le toit résultant de la condensation de l'humidité de l'air extérieur.

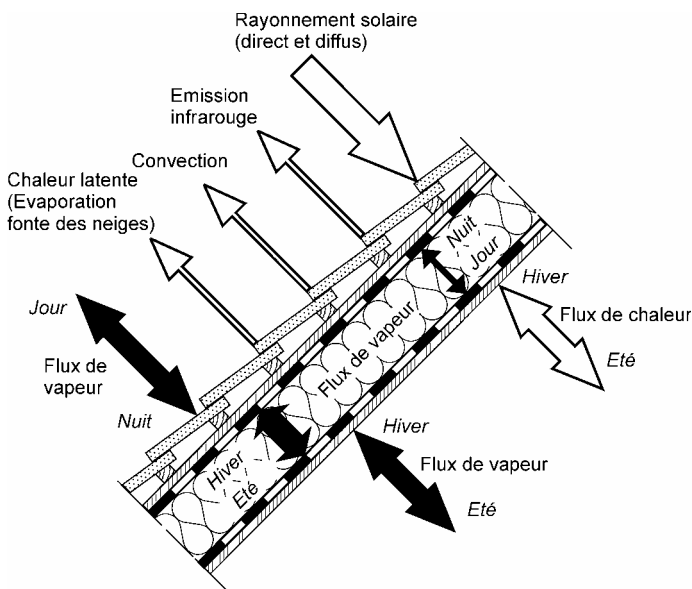


Figure 1 : Représentation schématique des effets de température et d'humidité et de leurs directions.

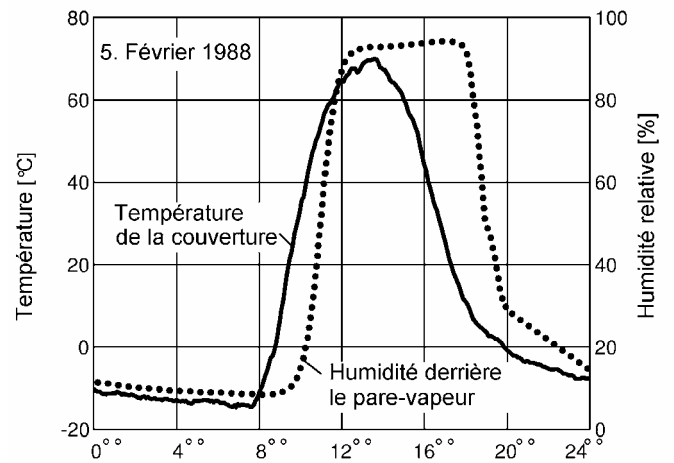


Figure 2 : courbe de la température de surface (température de la couverture en tôle) et du taux d'humidité relative de l'air entre le pare-vapeur et l'isolation.

Les conditions à la surface du toit ont également un effet sur les variations de température et d'humidité dans la construction. La température de surface, plus élevée en journée, entraîne une diffusion de vapeur des couches externes du composant vers l'intérieur du toit et en cas de construction non étanche, il y a également un transfert d'humidité vers l'extérieur. La Figure 2, montre l'ampleur du transfert d'humidité vers l'intérieur dans le cas d'un toit en tôle, orienté vers le sud. On peut y voir les courbes de la température à la surface du toit et du taux d'humidité relative de l'air entre le pare-vapeur et l'isolation au cours d'une belle journée d'hiver [1]. Avec des températures extérieures hivernales, la température de la couverture en tôle passe de -15°C la nuit à 70°C aux alentours de midi. Cette forte montée de la température fait passer l'humidité du planchéage en bois (support de la couverture en tôle) vers l'intérieur du toit. C'est pourquoi, l'humidité augmente avec un léger retard, de moins de 10% à plus de 90% d'humidité relative. La nuit, lorsque la température à la surface du toit passe à nouveau en dessous de la température de l'intérieur qui est chauffé, le flux de diffusion de vapeur change de direction et l'humidité relative derrière le pare-vapeur revient à son point de départ. Ces mesures montrent nettement les variations d'humidité qui peuvent exister au cours d'une journée dans un composant de construction à cause de la diffusion de vapeur. Néanmoins, le flux de diffusion nocturne en hiver est en règle générale plus important que la diffusion inverse due au soleil, de sorte qu'en hiver l'humidité migre, si on considère une période assez longue, vers l'extérieur. En été, la diffusion inverse augmente en conséquence, de sorte que la plus grande partie de l'humidité migre vers l'intérieur et sèche dans

l'enceinte du bâtiment, à condition qu'un pare-vapeur ne l'en empêche pas.

PARE-VAPEURS AVEC DES CARACTÉRISTIQUES PARTICULIÈRES

Les pare-vapeurs traditionnels en aluminium ou en polyéthylène sont uniquement adéquats dans des cas particuliers (p.ex. entrepôts frigorifiques ou piscines). Des études réalisées en Amérique du Nord sur des maisons modernes en bois ont montré que même en cas de finition très soignée, la pénétration d'humidité due à la convection dans des composants externes, correspond environ au flux de diffusion à travers un pare-vapeur ayant une épaisseur équivalente μd (la résistance d'un film à la diffusion de vapeur est souvent représentée par l'épaisseur d'une couche d'air immobile avec une résistance équivalente) de 3 m (perméance = 1 perm) [2]. Cela signifie que même avec une étanchéité beaucoup plus élevée du pare-vapeur, le transfert d'humidité dans le composant de la construction sera aussi important que si cette valeur μd n'était que de 3 m. Ainsi, l'utilisation des pare-vapeurs avec une valeur μd élevée laisse à penser que la sécurité contre la formation d'eau de condensation est plus élevée qu'elle ne l'est en réalité. De plus, dans ce cas, le séchage en été se voit largement entravé. Dans beaucoup de situations, il est donc plus judicieux d'utiliser un pare-vapeur avec une valeur μd entre 2 m et 5 m plutôt qu'un pare-vapeur totalement étanche. L'apparition de condensation en hiver est suffisamment réduite et un séchage vers l'intérieur du bâtiment est possible en été.

Dans certains cas, comme l'étanchéité totale à l'extérieur des chevrons de toitures inclinées (feutre bitumé comme sous-toiture et/ou tôle ou ardoise comme couverture) ou l'étanchéité par l'intérieur de vieux bâtiments à colombage, le séchage par un tel pare-vapeur n'est pas suffisant pour assurer une sécurité à long terme contre l'humidité. A ce moment-là, il est conseillé d'augmenter le potentiel de séchage par l'utilisation d'un pare-vapeur innovant [3]. Actuellement, deux types de ces nouveaux pare-vapeurs sont sur le marché en Europe. Ils fonctionnent suivant deux principes physiques distincts.

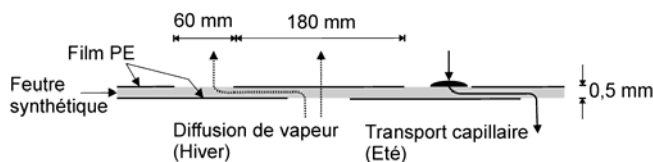
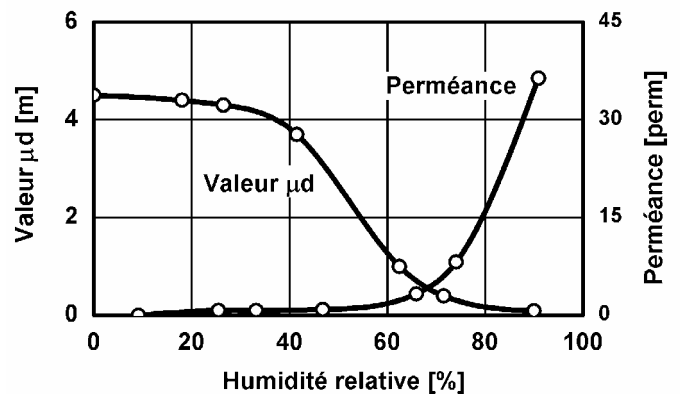


Figure 3: Conception du pare-vapeur actif appelé également « Hygrodiod ».

Le pare-vapeur actif (ou perméable à l'eau), représenté par la Figure 3, est composé d'un feutre synthétique garni de bandes de polyéthylène se chevauchant alternativement sur les deux faces [4]. Les espaces entre les bandes en polyéthylène assurent une réduction de la diffusion suffisante ($\mu d > 10$ m; perméance $< 0,3$ perm) en hiver. Cependant, si le pare-vapeur est mouillé, suite à des fuites dans le toit ou bien par la diffusion inverse lors de la condensation en été, le feutre absorbe l'humidité et la redistribue par effet capillaire vers l'autre face du pare-vapeur, où elle peut s'évaporer vers l'intérieur des locaux. Pour avoir néanmoins un effet de séchage sensible en été, il faut qu'il y ait assez d'eau sur le pare-vapeur afin que le transport capillaire



dans le feutre puisse avoir lieu.

Figure 4: Dépendance de la valeur μd ou de la perméance du pare-vapeur adaptative à base de polyamide par rapport à l'humidité relative de l'air.

Le pare-vapeur à propriété variable s'adapte au niveau d'humidité ambiante [5, 6]. Il a, dans des conditions hivernales (faible humidité relative), le comportement d'un pare-vapeur qui entrave la diffusion. Par contre, en présence de conditions favorables pour le séchage, par exemple en été ou en présence d'une diffusion inversée due au changement climatique sa perméabilité à la vapeur augmente et favorise le séchage avant que la condensation n'apparaisse. Ce phénomène s'explique par la valeur μd (ou la perméance) variable avec l'humidité. Comme les résultats des mesures l'ont montré dans la Figure 2, l'humidité relative derrière un pare-vapeur varie beaucoup suivant les conditions atmosphériques. Si l'humidité migre vers l'extérieur, la région proche du pare-vapeur devient très sèche. Dans cette situation, le pare-vapeur est censé empêcher la migration de l'humidité de l'intérieur des locaux vers l'extérieur. Le pare-vapeur doit donc être aussi étanche que possible. Si l'humidité migre vers l'intérieur (ce phénomène est appelé diffusion inversée), l'humidité relative augmente au niveau du pare-vapeur. Dans certains cas extrêmes, il y a condensation. Dans cette situation, une haute perméabilité du pare-vapeur présente un grand avantage afin que l'humidité puisse diffuser vers l'intérieur et que le composant puisse

sécher. La Figure 4 montre la dépendance de la valeur μ_d ou de la perméance du pare-vapeur adaptative à base de polyamide (PA) en fonction de l'humidité ambiante. La forte dépendance de la perméabilité à la vapeur en fonction des conditions hygrométriques de l'environnement s'explique par l'inclusion de molécules d'eau dans les longues chaînes moléculaires des polymères. Dans des conditions normales, la valeur μ_d varie entre env. 4 m (perméance = 0,8 perm) dans un état sec et 0,1 m (35 perm) en cas de contact avec de l'eau (p.ex. formation d'eau de condensation sur le pare-vapeur ou contact avec un matériau de construction humide).

UTILISATION PRATIQUE DES PARE-VAPEURS FAVORISANTS LE SÉCHAGE

Afin de vérifier l'efficacité de ces nouveaux pare-vapeurs, des essais en laboratoire [3] et une série de tests dans des conditions réelles sur l'aire d'essais de l'Institut Fraunhofer pour la physique de bâtiment (IBP) ont été réalisés. Les résultats sont résumés et brièvement interprétés dans les paragraphes suivants.

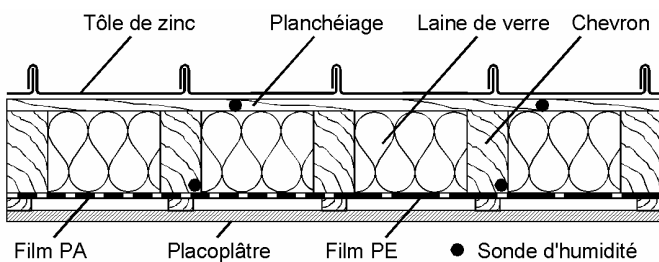


Figure 5: Structure du toit en tôle analysé avec indication des points de mesure de l'humidité.

SÉCHAGE D'UN TOIT EN TÔLE NON-VENTILÉ

L'objet de cette étude est un toit en tôle non-ventilé décrit en [1], avec une isolation en laine de verre entre les chevrons. On considère la partie du toit orientée vers le nord avec une inclinaison de 50° qui recouvre des combles chauffés dont l'air ambiant est maintenu à 50 % d'humidité relative durant la période de chauffage, grâce à des humidificateurs réglables. Comme on peut le voir sur la Figure 5, une partie des chevrons est étanchée avec un film polyéthylène (film PE ; épaisseur 150 μm) du côté du local, et l'autre partie avec un film polyamide adaptative (film PA ; épaisseur 50 μm). Le lambrisage interne posé par-dessus est, dans les deux cas, composé de placoplâtre. Avec l'aide de sondes qui permettent de mesurer l'humidité du bois et que l'on peut voir également sur le croquis (mesure de la résistivité électrique), on enregistre le séchage en été du planchéage en bois de 30 mm dont les fibres ont été initialement saturées. Pour pouvoir constater une éventuelle redistribution de l'humidité dans la construction du toit, on

enregistre en outre l'humidité de surface des chevrons du côté du local. Etant donné que l'humidité dans la partie du toit protégée avec le film polyéthylène n'a pas été évacuée par séchage en été, comme on le montrera plus tard, l'essai a été renouvelé l'année suivante avec un pare-vapeur actif. Cela veut dire que le film polyéthylène a été enlevé et remplacé par l'hydrodiode. Comme tous les paramètres, à l'exception du climat extérieur (la moyenne des conditions météorologiques a un effet quasi identique) sont restés les mêmes, nous pouvons comparer l'ensemble des résultats.

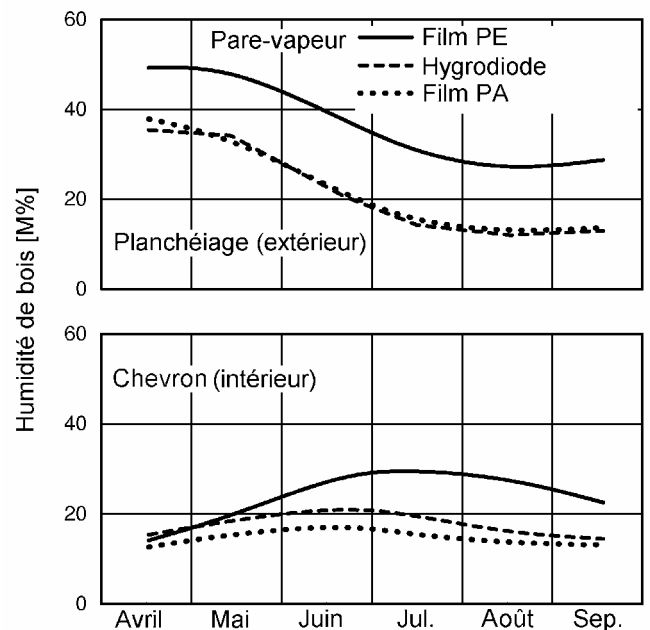


Figure 6: Courbe des mesures d'humidité du bois dans le planchéage sous la couverture en tôle et au niveau de la surface intérieure des chevrons dans les zones du toit avec différents pare-vapeurs.

Les évolutions de l'humidité du bois dans le planchéage extérieur et sur la surface des chevrons du côté intérieur ont été enregistrées, comme le montre la Figure 6, entre les mois d'avril et de septembre. Au départ, l'humidité des chevrons est à peu près la même partout. Le bois de planchéage a dans la zone avec le film PE une humidité initiale un peu plus importante que dans les autres cas, mais elle dépasse toujours le degré de saturation des fibres. Au cours de l'été, l'humidité migre du planchéage vers l'intérieur. La réduction régulière de l'humidité du planchéage dans toutes les zones montre que le flux moyen de diffusion est sensiblement le même. Au total, le planchéage perd environ 2,5 kg/m² d'eau en été. Par contre, l'humidité des chevrons augmente sur la face interne. A noter cependant que le pare-vapeur adaptative (film PA) et le pare-vapeur actif (Hydrodiode) permettent un séchage rapide vers

Künzel,H.M. : Pare-vapeur pour la protection de l'enveloppe des bâtiments contre un excès d'humidité.

l'intérieur de la pièce. Comparé à la zone avec un film PE, l'augmentation d'humidité est ralentie tellement vite, que l'humidité dans les chevrons ne dépasse que très brièvement voire pas du tout le seuil critique de 20 M.-%. A la fin de l'été, l'humidité du bois dans les zones de la toiture avec les nouveaux pare-vapeurs est au-dessous de 15 M.-% (état sec à l'air ambiant), alors que l'humidité derrière le film PE reste nettement plus élevée (> 20 M.-%).

SÉCHAGE D'ÉLÉMENTS LÉGERS DE PAROIS EXTÉRIEURES

Comme pour les toits, il y a des murs dont la construction ne permet guère le séchage vers l'extérieur, p.ex. en raison de revêtements étanches à la vapeur, de collecteurs muraux ou de blindage en tôle. En pareils cas, une diffusion de vapeur vers l'intérieur du bâtiment devrait permettre d'avoir une amélioration de la situation. C'est la raison pour laquelle, avec l'aide d'éléments en bois, on essaye de voir si les nouveaux pare-vapeurs montrent aussi la même capacité à améliorer le séchage dans des conditions hygro-thermiques qui sont propres aux parois extérieures. A cet effet, des éléments de parois légers, encadrés et dotés de finitions scellées, sont exposés aux intempéries en les intégrant dans les façades est et ouest d'une halle d'essai climatisée (20°C, 50% d'humidité relative). La construction de ces éléments est visible sur la Figure 7. Afin de déterminer le potentiel de séchage, les planches en bois qui sont destinées au planchéage externe et qui sont au départ plongées dans de l'eau avant leur montage jusqu'à ce qu'elles aient absorbé environ 50 M.-% (4 kg/m²). Ensuite, les éléments muraux sont scellés de manière étanche sur la face externe avec un panneau en aluminium. Du côté intérieur du bâtiment, on applique le film PA ou l'Hygrodiode. Enfin, on applique un lambrisage intérieur en placoplâtre.

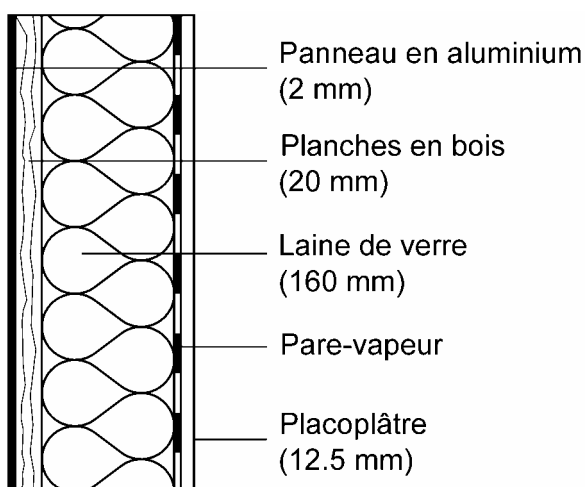


Figure 7: Construction des éléments muraux exposés aux intempéries dans la façade d'une halle de test climatisée.

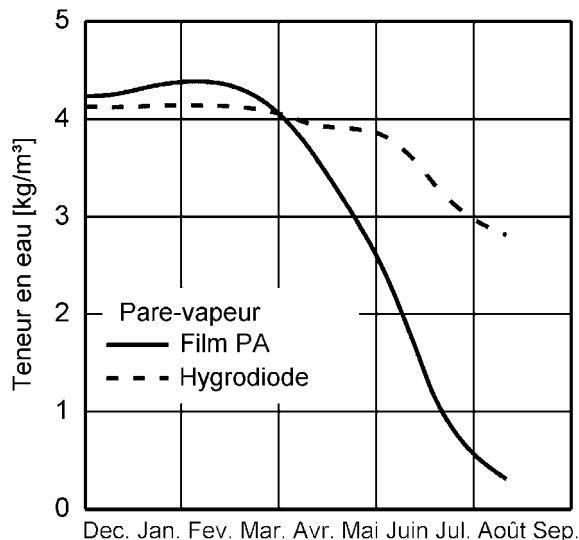


Figure 8: Evolution du séchage des éléments

L'essai débute en novembre 1998. Le taux d'humidité est déterminé chaque semaine par pesage des éléments muraux amovibles. La Figure 8 montre l'évolution de l'humidité moyenne des éléments ouest et est. Alors que les éléments avec film PA variable présentent une légère augmentation de teneur en eau en hiver (déc.-fév.) à cause de la pénétration d'humidité provenant de l'air intérieur, la teneur en eau des éléments avec l'Hygrodiode reste presque constante durant la même période. La différence s'explique par une valeur μ d plus élevée (dans la zone sèche) du pare-vapeur actif. En revanche, le séchage des éléments muraux avec film PA débute dès mars. Cinq mois plus tard, les éléments sont complètement secs et ont perdu au total 4 kg/m² en eau. Quant au séchage avec l'Hygrodiode, il ne démarre qu'en juin et est nettement plus lent, de sorte qu'à la fin de l'été, environ 2/3 de l'humidité initiale se trouvent encore dans les éléments.

Apparemment, l'apparition d'eau de condensation au niveau du pare-vapeur est moins fréquente en été pour les éléments muraux que pour le toit, en raison de leur température de surface qui est moins élevée. Pour cette raison, le pare-vapeur actif est moins efficace dans les parois extérieures que dans le toit. Comme la perméabilité à la vapeur du film PA variable augmente bien avant l'apparition d'eau de condensation dans une fourchette entre 70 % et 80% d'humidité relative, son effet de séchage reste également présent dans des constructions murales.

CONCLUSION

Les exemples précédents montrent que les pare-vapeurs innovants qui ont fait dans ce cas l'objet d'études et d'analyses, améliorent nettement, la tolérance des constructions en matière d'humidité par rapport aux pare-vapeurs traditionnels. Cela est valable tant pour les constructions neuves que pour les projets de rénovation. Alors que les deux pare-vapeurs montrent des résultats sensiblement comparables dans le domaine de la toiture, le film polyamide à propriété adaptative est conseillé pour les parois extérieures plutôt que le pare-vapeur active (Hygrodiode). Cela s'explique par les températures de surface des parois qui sont plus basses et qui ne font presque pas apparaître de condensation sur le pare-vapeur en été, de sorte que le mécanisme de séchage du feutre capillaire ne peut pas être mis correctement en route. Cela est également le cas avec une utilisation de matériaux isolants qui absorbent l'humidité, et qui ne permettent pas de formation d'eau de condensation ou bien qui absorbent immédiatement l'eau condensée.

Une protection insuffisante contre la pluie ou un manque d'étanchéité à l'air ne peuvent néanmoins pas être compensés par un pare-vapeur, aussi moderne soit-il. Cela signifie qu'un pare-vapeur moderne ne saurait être une solution de rechange pour une finition mal soignée. Leur utilisation ne doit en aucun cas inciter à travailler avec moins de soin que par le passé lors de la planification ou de la réalisation des travaux de pose, sinon la tolérance gagnée au niveau de l'humidité dans la construction risque de provoquer un effet contraire à celui attendu.

REFERENCES

- [1] Kuenzel, H.M. und Großkinsky, Th.: Feuchtesicherheit unbelüfteter Blechdächer; auf die Dampfbremse kommt es an! wksb 43 (1998), H. 42, S. 22-27.
- [2] TenWolde, A. et al.: Air Pressures in Wood Frame Walls. Proceedings Thermal VII. ASHRAE Publications, Atlanta 1999.
- [3] Kuenzel,H.M. and Leimer, H.-P.: Performance of Innovative Vapor Retarders Under Summer Conditions. ASHRAE Transactions 2001, Part. 1, pp. 417-420.
- [4] Korsgaard, V. and Pedersen, C.R., Laboratory and Practical Experience with a Novel Water-Permeable Vapor Retarder. Conference Proceedings Thermal Envelopes V, ASHRAE 1992, pp. 480-490.
- [5] Kuenzel, H.M., The Smart Vapor Retarder : An Innovation Inspired by Computer Simulations. ASHRAE Transactions 1998, Part. 2, pp. 903-907.
- [6] Kuenzel, H.M., More Moisture Load Tolerance of Construction Assemblies Through the Application of a Smart Vapor Retarder. Conference Proceedings Thermal Envelopes VII, ASHRAE 1999, pp. 129-132.