

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Diffusion de la vapeur et condensation

Latta, J. K.; Beach, R. K.

For the publisher's version, please access the DOI link below. / Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

<https://doi.org/10.4224/40000974>

Digeste de la construction au Canada, 1967-12

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=fcb5bfe1-2838-4c18-a85c-4a2d7d7f57d9>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=fcb5bfe1-2838-4c18-a85c-4a2d7d7f57d9>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

Digeste de la Construction au Canada

Division des recherches en construction, Conseil national de recherches Canada

CBD 57F

Diffusion de la vapeur et condensation

Publié à l'origine en décembre 1967

J.K. Latta et R.K. Beach

Veillez noter

Cette publication fait partie d'une série qui a cessé de paraître et qui est archivée en tant que référence historique. Pour savoir si l'information contenue est toujours applicable aux pratiques de construction actuelles, les lecteurs doivent prendre conseil auprès d'experts techniques et juridiques.

L'eau sous ses différentes formes est le principal agent de dégradation des bâtiments et la lutte contre l'humidité est l'un des principaux soucis des architectes. La diffusion sous forme de vapeur est l'un des moyens par lesquels l'humidité peut pénétrer dans les éléments de construction d'un édifice et en endommager les matériaux ou la texture. Ce n'est toutefois pas le seul moyen et en bien des cas il peut se révéler d'une importance moindre que d'autres, tels l'infiltration de la pluie ou les fuites d'air transportant de la vapeur d'eau. La diffusion de la vapeur doit cependant toujours être prise en considération. Le présent Digeste décrit une méthode à l'aide de laquelle l'architecte peut choisir la nature et l'emplacement des matériaux de telle façon que l'accumulation préjudiciable de l'humidité provenant de la diffusion de la vapeur puisse être évitée. En dépit de ses limitations cette méthode fournit les bases permettant de se former une opinion sur de nombreux aspects de la prévention de la condensation.

Traits caractéristiques des mélanges d'air et de vapeur d'eau

La vapeur d'eau est l'un des constituants gazeux de l'air; les autres constituants principaux sont l'azote, l'oxygène et l'anhydride carbonique (CO_2). Chacun d'eux exerce sa propre pression proportionnelle à la quantité de gaz présent. La totalité de ces pressions constitue la pression atmosphérique totale. Lorsqu'il se produit une différence dans les concentrations d'un de ces gaz entre deux points, il en résulte une différence des pressions partielles respectives, qui entraîne un écoulement de ce gaz particulier du point de forte concentration vers le point de faible concentration. Lorsqu'une différence de pression partielle existe entre les deux côtés opposés d'un élément de construction, le gaz dont il s'agit diffusera à travers les matériaux jusqu'à ce que l'égalisation des pressions partielles de ce gaz soit réalisée. La vitesse de la diffusion dépendra de la différence des pressions partielles, de la longueur de la voie suivie par l'écoulement de ce gaz et de la perméabilité des matériaux traversés à l'égard de ce gaz.

Aux températures et pression normales de l'atmosphère, l'eau peut exister sous trois formes différentes: gazeuse, liquide et solide. La température établit une limite à la quantité maximale

d'eau qui peut exister à l'état gazeux (vapeur). En conséquence, si un mélange d'air et de vapeur est refroidi, il atteindra une température à laquelle il se trouvera saturé, et si le refroidissement continue en-dessous de ce point une certaine quantité de vapeur se condensera. Si la température à laquelle l'air devient saturé (c'est-à-dire le point de rosée) se trouve au-dessus du point de congélation, la vapeur se condensera en eau. Si le point de rosée se trouve au-dessous du point de congélation la vapeur se condensera en glace sous forme de gelée blanche.

La proportion entre le poids de vapeur d'eau présent en fait dans l'air et le poids de vapeur que ce dernier peut contenir à saturation à la même température s'appelle le coefficient d'humidité relative, et on l'exprime habituellement en pourcentage. Comme la pression de vapeur est déterminée par la quantité de vapeur que contient l'air, le chiffre de l'humidité relative est aussi donné par le quotient de la pression réelle de la vapeur et la pression de saturation de la vapeur à la même température. En conséquence, si la température et l'humidité relative sont fixés, on peut calculer la pression réelle de la vapeur. C'est le produit de l'humidité relative (exprimée par un nombre décimal) et de la pression à saturation. Ces pressions de vapeur d'eau à saturation et les quantités correspondantes d'humidité dans l'air sont indiquées dans les tables psychrométriques, telle celle qui se trouve dans le "Guide and Data Book" de l'"American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers".

Calculs concernant l'écoulement de la vapeur

Dès que l'on dispose des valeurs de la pression de la vapeur de chaque côté des parois d'un bâtiment et qu'on a procédé au choix et à la disposition des matériaux de construction, on peut calculer les quantités de vapeur diffusée par une méthode semblable à celle qui a été utilisée pour calculer les flux de chaleur (**CBD 36F**). La relation suivante:

$$\text{Coefficient d'écoulement de vapeur} = \frac{\text{Différence des pressions de vapeur}}{\text{Résistance à la diffusion de vapeur}}$$

est semblable à celle qui permet de calculer le flux de chaleur. Il existe pourtant une importante différence découlant du pouvoir qu'a la vapeur de se condenser. Les calculs initiaux sont basés sur l'hypothèse de la continuité de l'écoulement de la vapeur et sur la supposition que toute la vapeur pénétrant dans la paroi du côté où règne une forte pression de vapeur ressortira du côté où règne une faible pression. Si au cours de son passage au travers des parois du bâtiment la vapeur se refroidit au-dessous du point de rosée, une certaine quantité d'humidité se condensera et les bases du calcul seront bouleversées. Cependant, même dans ce cas, il est possible de calculer la quantité de vapeur qui atteint le plan où se produit la condensation et la quantité qui s'en éloigne dès que l'on a précisé son emplacement. La différence entre les deux chiffres donne la quantité d'eau accumulée dans la paroi.

La résistance à la diffusion de vapeur d'un matériau se définit comme l'inverse de sa capacité à laisser passer l'écoulement de la vapeur, ou perméance. L'unité de perméance est le "perm" qui représente le passage d'un "grain" d'eau (64 mg.8) par pied carré et par heure sous une différence de pressions de vapeur atteignant un pouce de mercure. L'unité correspondante de perméabilité est le "perm-inch", qui est la perméance par pouce d'épaisseur. Les valeurs de la perméance de différents matériaux de construction, ainsi qu'une étude plus complète des calculs de diffusion et des questions touchant l'humidité, se trouvent dans le chapitre intitulé "Moisture in Building Construction" de l'"ASHRAE Guide and Data Book, Fundamentals and Equipment". Malheureusement les données disponibles ne caractérisent que partiellement les matériaux même très répandus. Une des raisons de cet état de choses découle du fait que la méthode prend en considération la diffusion simple et ne donne qu'une approximation insuffisante de ce qui se passe dans de nombreux matériaux. Contrairement à ce que l'on réussit pour le flux de chaleur, il est souvent impossible de donner les caractéristiques de perméabilité d'un matériau à l'aide d'un seul coefficient utilisable dans une large gamme de

conditions. Un Digeste séparé traitera peut-être cet aspect de la diffusion de l'humidité dans les matériaux.

Les données actuelles donnent cependant les éléments de base nécessaires à l'architecte soucieux de prévenir les difficultés qui pourraient provenir de la diffusion de l'humidité dans les parois des bâtiments. L'exemple suivant illustre la méthode de calcul du gradient de la pression de la vapeur et la façon dont il est possible d'utiliser cette donnée pour éviter les difficultés provenant de la condensation de l'humidité.

Tableau I. Calculs concernant la température et la quantité de vapeur diffusée

	Couche d'air	Plâtre	Isolement	Béton	Couche d'air	Total
Épaisseur n	-	$\frac{3}{4}$	1	4		
Perméance M	-	15	-	-	-	
Perméabilité μ	-	-	1.6	3.2	-	
Résistance au passage de la vapeur $1/M, n/\mu$	0	0.07	0.62	1.25	0	1.94
Chute de pression de la vapeur à la discontinuité	0	0.009	0.082	0.165	0	0.256
Pression de la vapeur aux discontinuités p_c	0.286	0.286	0.277	0.195	0.030	0.030
Conductance thermique C	1.46	6.66	-	-	6.00	
Conductibilité thermique k	-	-	0.25	12.0	-	
Résistance thermique $1/C, n/k$	0.68	0.15	4.00	0.33	0.17	5.33
Abaissement de la température	9	2	55	5	2	73
Température	73	64	62	7	2	0
Pression à saturation de la vapeur p_s	0.818	0.601	0.560	0.054	0.042	0.038

Pression						
réelle de la	0.286	0.286	0.264	0.054	0.030	0.030
vapeur p_a						

Exemple. Prenons comme exemple un mur de 4 pouces d'épaisseur en béton armé muni d'une couche d'isolant de 1 pouce d'épaisseur en plastique-mousse recouvert par un revêtement intérieur en plâtre de 3/4 de pouce d'épaisseur. Cette paroi sépare une atmosphère interne à 73° F. d'une humidité relative atteignant 30 pour cent et une atmosphère externe à 0° F. d'une humidité relative de 80 pour cent. Les pressions réelles de la vapeur sont respectivement de 0.286 po. de mercure (0.818×0.35) et de 0.30 po. de mercure (0.038×0.80) et la différence totale de pression atteint 0.256 po. de mercure. Cette différence de pression doit être répartie entre les différents éléments de la paroi proportionnellement à leur résistance à l'écoulement de la vapeur. Le calcul est présenté ci-dessus sous forme de tableau et le gradient de pression de vapeur qui en résulte et qui maintient la continuité de l'écoulement de la vapeur est rapporté sur le diagramme de la figure 1 sous la forme de la courbe p_c . Jusqu'à présent la méthode suivie est la même que celle servant à la détermination arithmétique du gradient de température. Le Guide de l'ASHRAE, édition de 1963, ne donne pas la valeur de la perméabilité de l'isolement en plastique-mousse, mais on peut l'évaluer selon les types de 0.75 à 5 perm/pouce.

Le gradient de température doit être déterminé en vue d'établir la courbe correspondante de la pression de la vapeur à saturation. Ceci permettra de savoir s'il se produira de la condensation de vapeur. Le gradient découle du tableau I et de la courbe p_s de la pression de la vapeur à saturation est tracée à la figure 1. On a arrondi les valeurs du gradient de température au degré le plus proche (**CBD 36F**). Bien qu'il ne soit pas nécessaire de pousser les calculs de l'écoulement de vapeur au delà de la seconde décimale, dans l'exemple choisi on les a poussés jusqu'à la troisième décimale pour donner plus de clarté à l'exposé. Il est bon de remarquer qu'un abaissement uniforme de la température au travers d'un matériau se traduit par une courbe incurvée de la pression de la vapeur à saturation. On peut remarquer que la courbe p_s se situe au-dessus de la courbe p_c près de la surface froide du béton. Comme la quantité maximale d'eau qui peut exister sous forme de vapeur dépend de la température, qui détermine également la pression de vapeur à saturation, la courbe de la pression réelle de la vapeur n'est jamais située au-dessus de la courbe de la pression de vapeur à saturation. Par conséquent, lorsque la courbe p_c est située au-dessus de la courbe p_s , la vapeur se condensera et il se produira une interruption dans la continuité de l'écoulement.

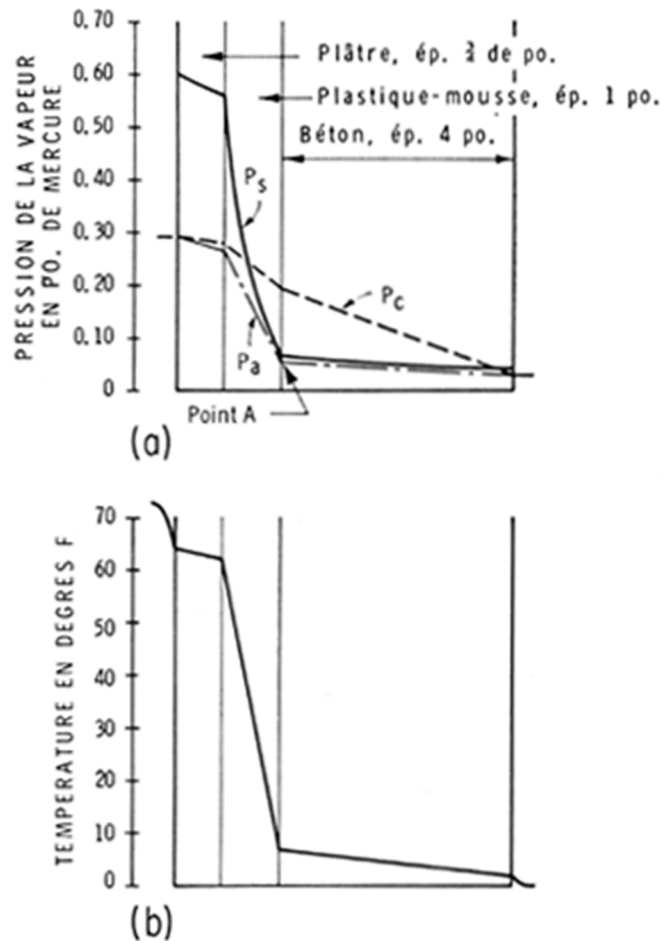


Figure 1. Pression de la vapeur et gradient de la température dans le mur original

Dans des conditions d'équilibre, la condensation ne se produit pas au point où les deux courbes se rencontrent; on peut habituellement tenir pour acquis qu'elle se produira à la surface de contact suivante. Le gradient réel de pression de la vapeur entre l'intérieur et le point A, et ce dernier et l'extérieur peut être calculé à l'aide de la valeur de la pression de la vapeur à saturation, atteignant 0.053 pouce de mercure au point A. Ces calculs sont reproduits au tableau I et reportés à la figure 1 sous la forme de la courbe p_a .

L'écoulement de vapeur au point A atteint:

$$\frac{0.286 - 0.054}{0.07 + 0.62} = 0.34 \text{ grains/pied carré/heure}$$

et à partir du point A il est de:

$$\frac{0.054 - 0.030}{1.25} = 0.02 \text{ grains/pied carré/heure}$$

donnant un taux de condensation de:

$$0.34 - 0.02 = 0.32 \text{ grains/pied carré/heure}$$

Méthode de lutte contre la condensation

L'architecte voulant éviter qu'il ne se produise de la condensation devra prendre ses dispositions pour que la courbe de la pression de la vapeur à saturation soit placée au-dessus de la courbe de pression de la vapeur aux discontinuités. En termes généraux, on peut y arriver par une modification judicieuse des résistances à l'écoulement de la vapeur, ce qui transformera la courbe p_c , ou des résistances thermiques, ce qui changera la courbe p_s , ou par les deux moyens réunis.

La première solution consiste à modifier les résistances à l'écoulement de la vapeur en ajoutant un écran vaporifuge du côté chaud de la paroi. On peut calculer la résistance totale nécessaire pour empêcher la condensation en divisant la valeur de la chute de la pression de la vapeur allant du côté chaud au point A par la vitesse de l'écoulement de vapeur du point A vers l'extérieur. On obtient ainsi 11.6 unités de résistance. Le plâtre et l'isolament contribuent 0.69 unités de résistance, laissant ainsi 10.9 unités que doit fournir le revêtement vaporifuge. Par conséquent cet écran vaporifuge ne doit pas avoir une perméance supérieure à $1/10.9 = 0.09$ perm. L'addition d'un tel écran vaporifuge entre le plâtre et l'isolament modifiera la courbe de pression de la vapeur, et l'on obtiendra celle de la figure 2a. Le gradient de température ou la courbe p_s ne seront pas modifiées visiblement.

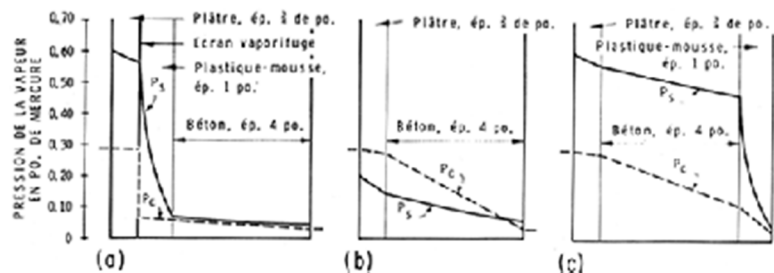


Figure 2. Gradient de la pression de la vapeur dans le mur de type amélioré

L'installation d'une feuille de matériau vaporifuge, qui pourrait consister en polyéthylène épais de 4 millièmes de pouce ou plus, suscite quelques difficultés pratiques. En conséquence on est amené à étudier l'autre méthode, qui consiste à modifier la courbe p_c et à réduire la résistance à l'écoulement de la vapeur du point A vers l'extérieur. La résistance maximale tolérable est égale au quotient de la chute de pression entre le point A et l'extérieur par la vitesse de l'écoulement de l'intérieur vers le point A, soit $0.024/0.34 = 0.071$ unités de résistance, donc une perméance atteignant au moins 14 perms. On ne peut obtenir cette perméance qu'en remplaçant le béton par un matériau possédant la perméabilité requise.

La deuxième méthode générale de résolution du problème consiste à remonter la courbe p_s par l'élévation de la température du côté chaud du béton. L'enlèvement de l'isolant appliqué sur le côté chaud du mur produira cet effet, mais il en résultera de la condensation (figure 2b). En outre, la diminution de l'isolament accroîtra les pertes de chaleur au travers du mur.

L'autre solution consiste à ajouter une couche isolante à l'extérieur; le même résultat peut toutefois s'obtenir par l'intervention des positions relatives de la couche de béton et de la couche isolante. On obtient ainsi un type de mur donnant toute satisfaction (figure 2c) mais requérant l'addition d'un revêtement efficace contre les intempéries pour protéger le matériau isolant. Ce revêtement devra avoir une forte perméance ou être dessiné comme un écran anti-pluie à événements.

Bien qu'en vue d'obtenir une plus grande clarté on ait traité séparément les effets de la modification de la résistance à l'écoulement de la vapeur et de la résistance thermique, la pratique habituelle est de modifier les deux paramètres en vue d'obtenir la solution générale la plus satisfaisante.

Ces exemples montrent que bien qu'on puisse choisir initialement un élément du mur en vue de ses qualités fondamentales, telles la résistance structurale ou la résistance thermique, il faut aussi tenir compte de son action sur l'écoulement de la vapeur et sur les propriétés thermiques

de la paroi. En particulier, la résistance au passage de la vapeur offerte par le revêtement isolant donne une grande importance au choix correct de l'emplacement du revêtement par rapport au mur.

Condensation tolérable

Jusqu'ici le présent exposé a traité des méthodes disponibles pour empêcher toute condensation. Dans bien des cas cependant on peut tolérer l'existence d'une certaine condensation, dont le montant maximal dépend de la capacité d'absorption ou de la résistance à l'eau de l'élément de construction dans ses conditions d'emploi. Si l'on tolère l'existence d'une certaine condensation, il est nécessaire que les matériaux aient la possibilité de sécher. Les effets du froid sur les matériaux imbibés d'eau, de la fonte soudaine d'une certaine quantité de glace accumulée, des variations de dimensions induites par les variations de la teneur en humidité des matériaux et bien d'autres facteurs doivent être pris en considération avant que cette solution soit adoptée.

Les présentes méthodes de calcul de l'écoulement de vapeur sont considérées comme suffisamment exactes lorsque le moyen principal de transmission de l'humidité consiste en diffusion de vapeur et quand on dispose des coefficients de mesure du taux d'écoulement de la vapeur d'eau au travers du matériau considéré dans les conditions prévues d'utilisation. Cependant, lorsque le matériau est capable d'absorber des quantités importantes d'eau, la méthode basée sur la diffusion de la vapeur peut se montrer peu adéquate ou même inexacte selon les conditions régnantes. La méthode de calcul ci-dessus donne néanmoins les meilleures bases d'estimation pour la lutte contre la condensation.