

Pathologie de l'humidité. Paroi simple

Phénomène de condensation

par Paul DAHAN

Ingénieur ETP, European Engineer, ex-professeur à l'ESTP

1. Humidité absolue.....	C 7 130 - 2
2. Humidité relative. Degré hygrométrique.....	— 3
3. Condensation superficielle. Point de rosée.....	— 3
4. Pression partielle. Pression de saturation.....	— 3
5. Facteurs de diffusion de la vapeur d'eau.....	— 3
5.1 Température.....	— 4
5.2 Humidité relative.....	— 4
6. Diffusion de la vapeur d'eau.....	— 4
6.1 Loi de Fick.....	— 4
6.2 Perméance.....	— 5
6.3 Résistance de diffusion.....	— 5
6.4 Facteur de résistance de diffusion.....	— 5
6.5 Couche d'air de diffusion équivalente.....	— 5
7. Matériaux hygroscopiques et non hygroscopiques.....	— 5
8. Parois multicouches.....	— 6
8.1 Diagramme des températures.....	— 6
8.2 Diagramme des pressions saturantes.....	— 6
8.3 Diagramme des pressions partielles.....	— 6
9. Conclusion.....	— 7
Pour en savoir plus.....	Doc. C 7 136
Formulaire.....	Form. C 7 137

Dans l'art de construire, le maître d'ouvrage et/ou le maître d'œuvre ont toujours le devoir d'adapter les constructions aux sites et l'obligation de résultat vis-à-vis des conditions climatiques.

L'adaptation aux sites reste du domaine de l'architecture.

*Le bon comportement, ou la dégradation, de la chose construite va dépendre, en général, de la « technique » de construction et en particulier de la réaction aux agressions des agents naturels que sont la **chaleur** et l'**eau**, sous toutes leurs formes, agissant séparément ou ensemble.*

*La théorie de « **la migration de la vapeur d'eau dans la masse** » permet une approche qualitative de ces phénomènes naturels. Cette théorie permet, également, de les quantifier. L'intérêt de quantifier cette migration est de pouvoir :*

- comprendre et résoudre les problèmes d'humidité existants ou à venir ;*
- intervenir le plus en amont possible, lors de la conception du projet, et être ainsi à même de prévenir, plutôt que de guérir, la (ou les) pathologie(s) potentielle(s).*

Cette démarche implique pour le maître d'ouvrage, et/ou le maître d'œuvre, de budgéter des études spécifiques qui seront largement compensées par la fiabilité à long terme des prévisions établies.

Cette résolution pratique de phénomènes complexes s'appuie sur le cheminement scientifique décrit dans le REEF (volume II) sous le titre : « Diffusion de la vapeur d'eau au travers des parois. Condensations. » par M. Jacques Berthier (décédé en 1980), directeur du CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment).

Pour passer de « la théorie à la pratique », l'exemple traité sera « une paroi type », étudiée de façon progressive et didactique pour bien s'approprier cette méthode.

L'objectif est d'assimiler cette méthodologie, de façon qu'à partir de l'exemple choisi, chacun puisse résoudre, par analogie, d'autres cas concrets.

Cette méthode permet, en effet, de prévoir et d'évaluer les comportements physiques des constituants exposés aux **agressions hygrothermiques naturelles**. Elle facilite également la comparaison par rapport aux résistances admissibles que l'on trouve dans les documents officiels (normes, DTU, avis techniques, PV d'essais de laboratoires certificateurs, règles professionnelles, etc.).

En définitive, cette approche constitue « un outil de travail » destiné d'une façon générale aux intervenants participant à l'acte de construire (maîtres d'ouvrages, maîtres d'œuvre, bureaux d'études techniques, enseignants, entreprises, négociants de matériaux, etc.) et, également aux professionnels qui ont « à juger de la chose construite ».

Dans ce dossier, nous rappelons la théorie du phénomène de condensation nécessaire à la compréhension « qualitative » des phénomènes relatifs à la migration de la vapeur d'eau dans la masse.

Nota : un tableau regroupant les symboles également utilisés pour les articles [C 7 132] et [C 7 134] se trouve en fin d'article.

1. Humidité absolue

L'air est un mélange de gaz qui contient, en particulier, de la vapeur d'eau en suspension.

On définit « l'**humidité absolue de l'air** » comme étant la quantité de vapeur d'eau contenue dans cet air. Elle est exprimée en g/m^3 . On utilise la lettre « W » pour désigner l'humidité absolue.

À une température donnée, 1 m^3 d'air ne peut contenir qu'une quantité limitée de vapeur d'eau. Cette limite est appelée « **limite de saturation** », et, est notée W_s . Elle augmente très rapidement avec la température dans les conditions normales de pression atmosphérique (1 013,2 hPa ou 760 mmHg au niveau de la mer à 15 °C)

Nota : millimètre de mercure (mmHg).

Exemple : ainsi, 1 m^3 d'air à 0 °C contiendra au maximum 3,9 g de vapeur d'eau, alors qu'à 20 °C il pourra en contenir jusqu'à 15,2 g (figure 1).

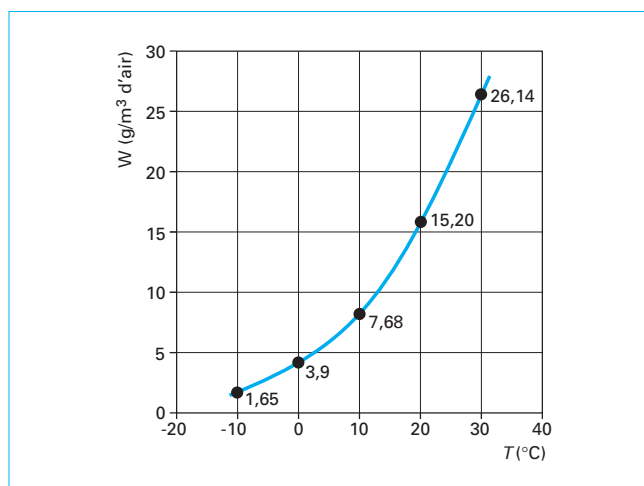


Figure 1 – Diagramme de Mollier : courbe de saturation de la vapeur d'eau dans l'air en fonction de la température

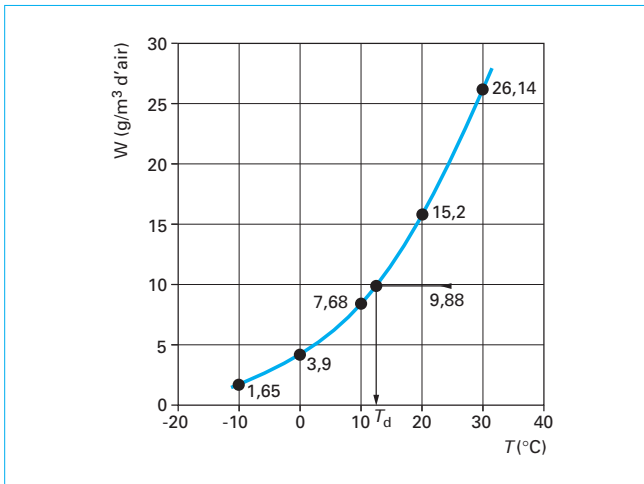


Figure 2 – Diagramme de Mollier : température du point de rosée

2. Humidité relative. Degré hygrométrique

Généralement, l'air **ambiant** n'est pas saturé en vapeur d'eau, son humidité absolue, W , est inférieure à la limite de saturation W_s ($W < W_s$).

- Le **degré hygrométrique** est égal à :

$$\frac{W}{W_s}$$

Exemple : pour un air à 20 °C où $W = 12 \text{ g/m}^3$ et sachant qu'à cette température $W_s = 15,2 \text{ g/m}^3$ (figure 2), son degré hygrométrique est égal à :

$$W / W_s = 12 / 15,2 = 0,7896 \approx 0,80$$

- L'**humidité relative** est égale à :

$$HR = \frac{W}{W_s} \cdot 100$$

Exemple : pour le cas de figure cité précédemment :

$$HR = (12 / 15,2) \times 100 = 78,967 \approx 0,80 \%$$

On peut donc énoncer qu'un **air saturé** a un degré hygrométrique égal à 1 et une humidité relative égale à 100.

3. Condensation superficielle. Point de rosée

Considérons le cas de figure suivant : soit 1 m³ d'air non saturé en vapeur d'eau contenu dans un cube bien étanche en verre. Sa température est baissée graduellement. À une certaine température, il apparaîtra, sur la surface interne de la vitre, des gouttelettes d'eau.

Ce phénomène physique s'explique par le fait que, lorsqu'on abaisse la température du volume d'air non saturé, la limite de saturation pour cet air diminue, c'est-à-dire que son humidité relative « augmente ». Ainsi pour une certaine température, $HR = 100 \%$.

Si on abaisse encore la température, une partie de la vapeur d'eau passe à l'état liquide : on atteint alors le début du phénomène de **condensation superficielle**.

La température à laquelle les premiers signes de condensation apparaissent est appelée « **température du point de rosée** » ou « **point de rosée** ». On note : $T = T_d$.

Exemple : dans un air à 20 °C, dont l'humidité relative $HR = 65 \%$, la quantité absolue W de vapeur d'eau qui y est contenue est égale à :

$$W = W_s \cdot \frac{65}{100} = 9,88 \text{ g/m}^3$$

En reportant cette valeur sur le diagramme de Mollier (figure 2), on constate que cette quantité de vapeur d'eau correspond à la quantité de saturation d'un air dont la température T serait égale à :

$$T = T_d = 13,2 \text{ °C}$$

4. Pression partielle. Pression de saturation

Dans un mélange de gaz constitué par de l'air et de la vapeur d'eau, la **pression partielle** de la vapeur d'eau est, par définition, « la *pression qu'aurait la vapeur d'eau, si elle occupait seule tout le volume du mélange considéré* ». On la désigne par « P_p ».

La pression partielle de la vapeur d'eau est une fonction croissant rapidement avec la température (loi de Mariotte : $PV = nRT = \text{constante}$, loi rigoureuse pour les gaz parfaits).

À une température donnée, en injectant de la vapeur d'eau dans un certain volume, on atteindra une **pression partielle maximale** qui est la limite à laquelle la vapeur d'eau reste à l'état vapeur. Au-delà de cette limite, la vapeur d'eau injectée dans le volume considéré change d'état ; la **vapeur d'eau se transforme en eau liquide**. La pression maximale à laquelle se produit cette transformation est appelée « **pression de saturation** ». On la désigne par P_s .

On peut également définir le **degré hygrométrique** comme le rapport :

$$\frac{\text{Pression partielle}}{\text{Pression saturante}} = \frac{P_p}{P_s}$$

Exemple : aux températures de -10 °C ; 0 °C ; +10 °C ou +20 °C, la pression saturante P_s de la vapeur d'eau aura respectivement pour valeur : 1,95 ; 4,58 ; 9,21 ou 17,54 mmHg (cf. tables de Regnault dans la fiche formulaire [Form C 7 137]).

5. Facteurs de diffusion de la vapeur d'eau

Les facteurs qui permettent la diffusion de la vapeur d'eau à travers une paroi sont :

- le **différentiel de température** ;
- le **degré hygrométrique** (ou l'**humidité relative**, ou la **pression partielle**) différent de chaque côté de la paroi.

5.1 Température

Les calculs de diffusion à travers une paroi sont toujours effectués en supposant un **régime hygrothermique permanent** de part et d'autre de la paroi.

Les risques de condensation sont d'autant plus importants que la température extérieure est plus basse.

Lorsqu'il y a condensation dans la masse (par exemple à l'interface de la paroi en béton et de son enduit plâtre intérieur), le dépôt d'humidité se produit dans un plan bien déterminé, dont il est important de connaître la température.

Les phénomènes de diffusion entraînant des condensations sont lents à s'établir, mais une fois établis, ils sont longs à se dissiper.

Pour évaluer la **quantité totale d'humidité** qui peut se déposer dans et/ou sur la paroi pendant la période hivernale de chauffage, il faut connaître :

- l'évolution de la température extérieure au cours de la période de chauffage ;
- le nombre d'heures pendant lesquelles la température n'a pas varié de plus de 5 °C.

Les calculs seront menés pour des températures extérieures négatives (– 15 °C par exemple) jusqu'à des températures positives (+ 5 °C ou + 10 °C), et ce par plage de 5 °C.

Lorsque le plan où se produit la condensation est à une température négative, l'eau se dépose sous forme de glace et ne peut ni s'écouler, ni être absorbée par la paroi. Cette **cristallisation** de la vapeur d'eau dans la paroi peut être la cause de désordres tels que fissures et/ou éclatement des matériaux gélifs (susceptibles de subir l'action du gel).

5.2 Humidité relative

L'**humidité** dans les habitations provient de l'équilibre qui s'établit entre la production de vapeur d'eau (respiration, cuisson des aliments, bains, douches, etc.) et la ventilation (extraction naturelle ou mécanique).

L'objectif de la ventilation est d'éliminer l'air vicié, chargé en humidité en le remplaçant par de l'air neuf et froid, donc contenant, en valeur absolue, une faible quantité de vapeur d'eau.

Cet air froid, en se réchauffant, va pouvoir se charger d'une quantité de vapeur d'eau plus importante, et donc abaisser la valeur de l'humidité relative dans le local (principe de base de la climatisation).

La ventilation est d'autant plus efficace que l'air extérieur est **froid, donc sec**.

Remarques importantes

• L'**humidité absolue** W de l'air extérieur varie relativement peu au cours d'une même saison en France :

- en été, $W_{\text{été}}$ est maximale ($W_{\text{été}} \approx 12 \text{ g/m}^3$ d'air) ;
- en hiver, W_{hiver} est minimale ($W_{\text{hiver}} \approx 6 \text{ g/m}^3$ d'air).

Ce qui correspond à des températures du point de rosée :

- en été $T_{d \text{ été}} = 15 \text{ °C}$;
- en hiver $T_{d \text{ hiver}} = 5 \text{ °C}$.

En conséquence, l'eau (de gâchage), contenue dans les mortiers (ou dans les bétons) et celle contenue dans les peintures en phase aqueuse, s'évaporeront très lentement en hiver. À 5 °C, la prise du ciment et la polymérisation des résines (liants des peintures) seront fortement ralenties.

• **Notion de confort.** Le corps humain, pour être dans de bonnes conditions de confort, a besoin que l'humidité relative (HR) du local dans lequel il se trouve soit comprise entre 50 % et 65 %.

Une humidité relative $HR < 45 \%$, correspond à une atmosphère trop « sèche », et peut entraîner un dessèchement des muqueuses (avec saignement des narines, gerçures des lèvres, etc.). Pour maintenir artificiellement une hygrométrie convenable on a recours alors à des humidificateurs.

Une humidité relative $HR > 65 \%$, correspond à des conditions analogues à celles des climats tropicaux (corps moite, transpiration excessive, etc.).

• **Gradient de pression.** Lorsqu'une paroi sépare deux ambiances dans lesquelles les humidités relatives sont différentes (donc les pressions partielles différentes), il se crée « un courant de diffusion » allant des hautes pressions vers les basses pressions, (ou des **humidités absolues** les plus grandes vers les plus basses).

Ces « différences de pression » sont appelées « gradient de pression », rendant ainsi possible le phénomène de « **migration de la vapeur d'eau dans la masse** ».

6. Diffusion de la vapeur d'eau

6.1 Loi de Fick

On considère maintenant une paroi séparant deux ambiances dont les températures T_1 et T_2 sont égales ($T_1 = T_2$), mais dont les humidités relatives HR_1 et HR_2 sont différentes, avec $HR_1 > HR_2$.

À chaque humidité relative de l'air, HR_1 et HR_2 , correspond une pression partielle P_{p1} et P_{p2} de la vapeur d'eau, avec bien sûr : $P_{p1} > P_{p2}$.

Au travers de la paroi s'établit un courant de diffusion, g , de la vapeur d'eau selon la loi de Fick (figure 3) :

$$g = \frac{P_{p1} - P_{p2}}{e} \pi$$

avec g ($\text{g/m}^2 \cdot \text{h}$) quantité de vapeur d'eau traversant la paroi par unité de temps et par unité de surface,

e (m) épaisseur de la paroi,

π ($\text{g/m} \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$) coefficient de perméabilité du matériau à la vapeur d'eau.

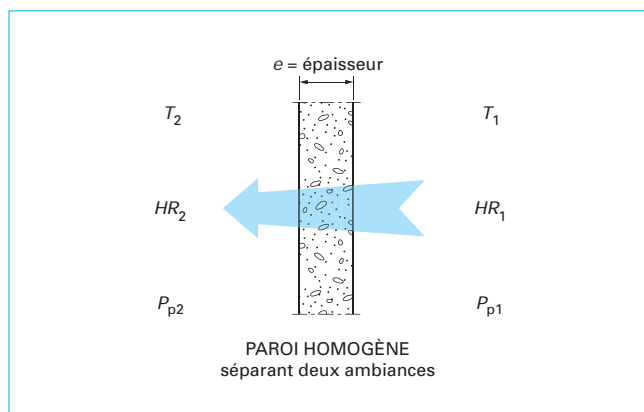


Figure 3 – Paroi homogène séparant deux ambiances

La loi de Fick est analogue à la loi qui régit la transmission de la chaleur à travers la paroi. Ainsi, il existe pour les problèmes de diffusion des coefficients de transfert de surface qui sont analogues aux coefficients thermiques d'échanges superficiels, h_e et h_i (cf. règles de calcul du DTU Th-K 77 et résistances superficielles R_e et R_i dans la réglementation thermique (RT) 2005 [1] [2] de [Doc. C 7 136] et figures 1 et 2 du formulaire [Form C 7 137]).

Mais ces coefficients de transfert de surface restent négligeables devant la résistance de diffusion à travers la paroi. On peut donc admettre, avec une bonne approximation, que la pression qui règne sur les faces de la paroi est celle qui règne dans l'ambiance en contact.

6.2 Perméance

La perméance est le rapport de la perméabilité π (en $\text{g/m} \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$) à la vapeur d'eau d'un matériau à l'épaisseur e (en m) de celui-ci :

$$\text{Perméance} = \frac{\pi}{e}$$

La perméance s'exprime en $\text{g/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$.

6.3 Résistance de diffusion

On définit la résistance de diffusion R_D à la vapeur d'eau comme l'inverse de la perméance. Elle s'exprime en $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg/g}$:

$$R_D = \frac{1}{\frac{\pi}{e}} = \frac{e}{\pi}$$

La résistance de diffusion d'une paroi d'épaisseur totale e , constituée de n éléments est donnée par la formule :

$$R_D = \frac{e}{\pi} = \frac{e_1}{\pi_1} + \frac{e_2}{\pi_2} + \frac{e_3}{\pi_3} + \dots + \frac{e_n}{\pi_n} = \sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\pi_i}$$

On note que ce sont les résistances élémentaires $\frac{e_n}{\pi_n}$ qui s'ajoutent, et non pas les perméances.

6.4 Facteur de résistance de diffusion

On définit le facteur de résistance de diffusion μ d'un matériau comme le rapport de la perméabilité à l'air ($0,09 \text{ g/m} \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$) à sa propre perméabilité π (en $\text{g/m} \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$: pour le matériau) :

$$\mu = \frac{0,09}{\pi}$$

μ est sans dimension.

Un matériau dont le facteur μ est voisin de 1 est un matériau très perméable à la vapeur d'eau. Un **matériau étanche** à la vapeur d'eau se caractérise par un facteur μ infini ($\mu = \infty$).

Les matériaux de construction, tout en étant perméables à la vapeur d'eau, constituent toujours un frein, plus ou moins grand, de diffusion par rapport à l'air. Le facteur μ de chaque matériau sera donc supérieur à 1.

Exemple : pour le plâtre, $\mu \approx 7$; pour du béton, $\mu \approx 30$; pour un revêtement plastique épais, $\mu \approx 6$ à 12 ; pour une feuille d'aluminium, $\mu \approx 600\,000$.

6.5 Couche d'air de diffusion équivalente

Il est parfois pratique de remplacer une couche de matériau, d'épaisseur e donnée, par une couche d'air d'épaisseur S_D telle qu'elle ait la même perméance.

On peut donc écrire :

$$S_D = \mu \cdot e$$

Soit :

$$S_D = \frac{0,09}{\pi} \cdot e = 0,09 \cdot \frac{e}{\pi} = 0,09 \cdot R_D$$

L'épaisseur S_D de la couche d'air équivalente s'exprime en mètres.

7. Matériaux hygroscopiques et non hygroscopiques

Un **matériau hygroscopique** possède la propriété de fixer une certaine quantité de l'humidité contenue dans l'air ou d'eau liquide (à son contact).

Le fait expérimental qui met en évidence ce phénomène est la **variation de sa masse** lorsqu'il est mis en présence d'humidité.

Exemple : la laine de verre non traitée est hygroscopique, alors que le polystyrène ou le polyuréthane ne le sont pas.

La perméabilité à la vapeur d'eau des matériaux non hygroscopiques n'est pas influencée par les conditions d'ambiance : on trouve le même coefficient de perméabilité par le calcul à la coupelle sèche ou par celui à la coupelle humide.

Il n'en est pas de même pour les matériaux hygroscopiques. Pour ces derniers, la perméabilité à la vapeur d'eau croît avec l'humidité relative des ambiances : lentement pour les humidités relatives inférieures à 50 %, mais très rapidement pour les humidités relatives supérieures à 85 %. Ce matériau ne constitue donc plus un frein vis-à-vis de la vapeur d'eau.

En pratique, le problème se pose principalement au niveau des couches intérieures ou extérieures des parois, et, selon le désordre rencontré, il suffit de calculer la perméance de la couche à la coupelle sèche ou à la coupelle humide (figures 4 et 5).

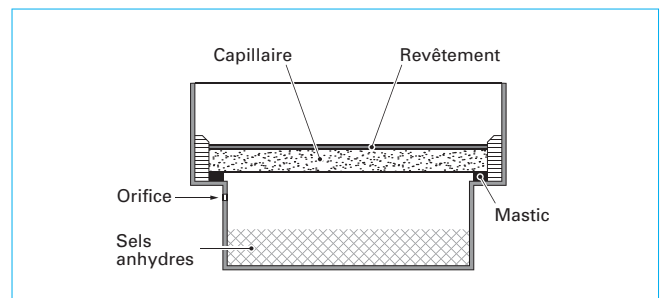


Figure 4 – Coupelle sèche ($T_i = T_e = 38 \text{ °C}$ avec $HR_i = 5 \text{ %}$ et $HR_e = 100 \text{ %}$)

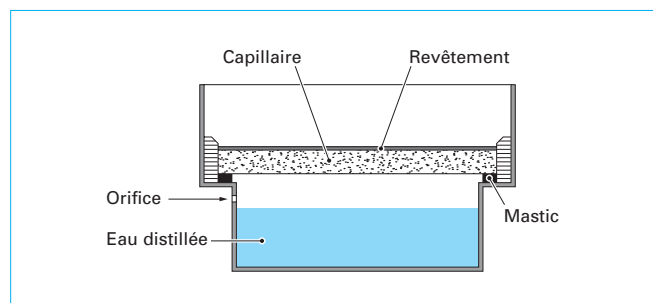


Figure 5 – Coupelle humide ($T_i = T_e = 38\text{ °C}$ avec $HR_i = 95\%$ et $HR_e = 50\%$)

8. Parois multicouches

Considérons maintenant deux parois en maçonnerie : la première est isolée par l'extérieur, la seconde l'est par l'intérieur. Traçons les diagrammes permettant d'appréhender la diffusion de la vapeur d'eau à travers ces deux murs.

8.1 Diagramme des températures

La chute de température est proportionnelle à la résistance thermique de la couche élémentaire traversée. La chute de température est importante dans le matériau isolant, faible dans la maçonnerie.

Les températures sur chaque face (intérieure et extérieure) des deux parois sont **identiques**, puisque le coefficient K de déperdition surfacique (cf. [C 7 132]) est le même que l'isolant soit « côté extérieur » ou « côté intérieur » de la maçonnerie.

Mais la température θ_c du plan de contact des deux couches sera, elle, différente. La température θ_{ce} (isolant à l'extérieur) sera plus élevée que la température θ_{ci} (isolant à l'intérieur).

En effet, lorsque l'isolant est à l'extérieur, la température de la maçonnerie est proche de celle qui règne à l'intérieur ; si l'isolant est positionné à l'intérieur, la température de la maçonnerie est alors proche de celle régnant à l'extérieur.

8.2 Diagramme des pressions saturantes

Le diagramme des pressions saturantes se déduit point par point du diagramme des températures.

À l'intérieur et à l'extérieur, les températures étant identiques pour les deux parois, les pressions saturantes P_{si} et P_{se} seront identiques. Cependant, dans le plan de contact entre ces deux couches on aura :

$$P_s(\theta_{ce}) > P_s(\theta_{ci}), \text{ puisque } \theta_{ce} > \theta_{ci}$$

8.3 Diagramme des pressions partielles

La pression partielle des ambiances intérieure P_{pi} et extérieure P_{pe} sont identiques pour les deux faces des deux parois.

À l'intérieur des parois, la chute de pression dans chaque couche est proportionnelle à la résistance de diffusion (e_n/π_n) de la couche traversée. Ainsi, la chute de pression sera forte dans la maçonnerie et faible dans l'isolant.

Pour des pressions identiques sur chaque face des parois, la pression partielle dans le plan de contact (P_{pc}) entre les deux couches sera donc moins élevée quand l'isolant est placé à l'extérieur, et plus élevée quand l'isolant est placé à l'intérieur.

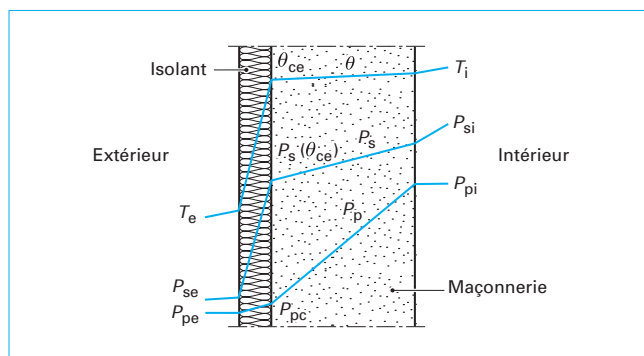


Figure 6 – 1^{re} paroi : isolation thermique par l'extérieur

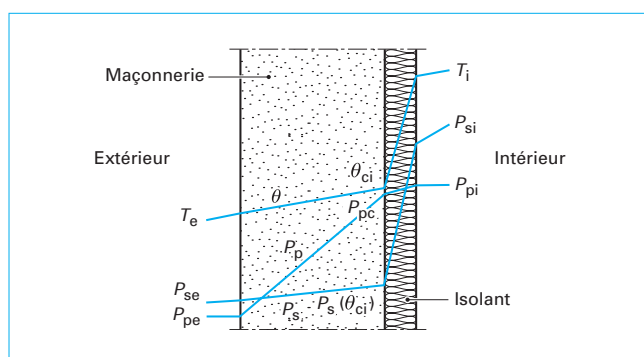


Figure 7 – 2^e paroi : isolation thermique par l'intérieur

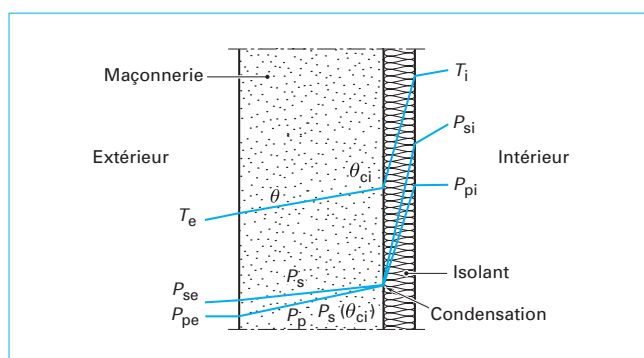


Figure 8 – 2^e paroi : isolation thermique par l'intérieur

Lorsque l'isolant est placé à l'extérieur, le tracé de la courbe des pressions partielles P_p se situe toujours en dessous de celle des pressions saturantes P_s .

La migration de la vapeur d'eau dans cette paroi se fera à « l'état vapeur » ; donc **sans condensation** (cf. figure 6).

Lorsque l'isolant est à l'intérieur, le diagramme des pressions partielles est situé, pour la majeure partie de la paroi, au-dessus de la courbe des pressions saturantes (cf. figure 7), ce qui est physiquement impossible. Pour rétablir un diagramme correct, il faut utiliser « les tangentes » (cf. figure 8).

À partir de la pression partielle intérieure P_{pi} et extérieure P_{pe} , on abaisse les tangentes (si cela est possible) à la courbe des pres-

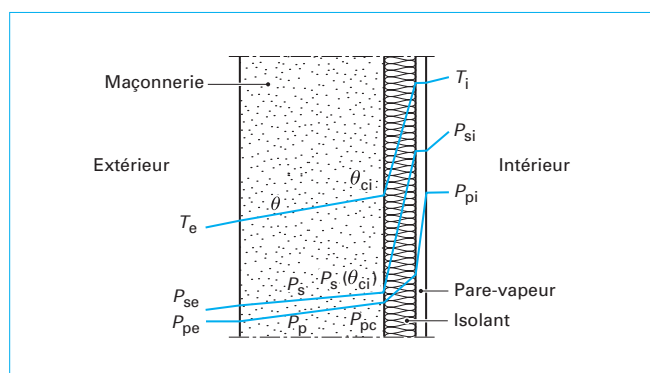


Figure 9 - 2° paroi : isolation thermique par l'intérieur (pare-vapeur)

sions saturantes, dont P_1 et P_2 seraient les points de contact respectifs (cf. figure 7). [Dans le cas de la figure 8 : P_1 et P_2 sont confondus avec le point $P_s(\theta_{ci})$].

On détermine ainsi une zone ($P_1 P_2$) de part et d'autre du plan de contact, où se déposera de l'humidité entre les deux couches.

Si les points P_1 et P_2 sont confondus avec $P_s(\theta_{ci})$ et si la quantité de vapeur d'eau qui arrive en $P_s(\theta_{ci})$ à travers l'isolant est supérieure à la quantité de vapeur d'eau qui peut migrer à travers la maçonnerie, un dépôt d'humidité s'établira dans le plan de contact.

Dans le cas où l'isolant est à l'intérieur, pour abaisser la valeur de la pression partielle (P_{pc}) dans le plan de contact, on dispose sur la face extérieure de l'isolant un matériau ayant une très forte résistance de diffusion à la vapeur d'eau (pare-vapeur, figure 9), dont la résistance thermique est négligeable. Les courbes des températures et des pressions saturantes ne sont donc pas modifiées.

Le pare-vapeur ayant une résistance de diffusion élevée par rapport aux autres couches, la chute de pression y sera importante. Le point P_{pc} sera donc positionné au-dessous du point $P_s(\theta_{ci})$, et, dans ces conditions, on pourra affirmer qu'il n'y a pas de condensation dans la paroi.

Nota : il faut bien veiller à la continuité du pare-vapeur pour ne pas créer de « ponts d'humidité ».

9. Conclusion

Les figures 6 à 9 représentent les différents « modes qualitatifs » relatifs aux phénomènes de « la migration de la vapeur d'eau à travers une paroi multicouche ».

Cette présentation constitue la théorie qui régit les phénomènes complexes de la migration de la vapeur d'eau à travers les matériaux utilisés couramment dans la construction. Cette approche qualitative des phénomènes de la migration de la vapeur d'eau peut être chiffrée.

Il reste donc maintenant à :

- les quantifier ;
- les analyser ;
- à en faire la synthèse.

Pour passer de la théorie à la pratique, le dossier [C 7 132] traitera le cas d'une « paroi type » (voile de béton) servant ainsi de base pour résoudre et comprendre, par analogie, d'autres cas concrets.

Symbole	Définition
T_e	Température extérieure
T_i	Température intérieure
HR	Humidité relative
HR_i	Humidité relative intérieure
HR_e	Humidité relative extérieure
E	Module d'élasticité
K	Coefficient de déperdition surfacique
λ	Coefficient de conductivité thermique
e	Épaisseur de la paroi
h_i	Coefficient thermique d'échange superficiel interne
h_e	Coefficient thermique d'échange superficiel externe
U	Coefficient de transmission surfacique
R_i	Résistance superficielle intérieure
R_e	Résistance superficielle extérieure
R_D	Résistance de diffusion de la vapeur d'eau de la paroi
π	Coefficient de perméabilité du matériau à la vapeur d'eau
R_{th}	Résistance thermique
ΔT	Gradient thermique
P_s	Pression saturante
θ_i	Température sur la face intérieure de la paroi
θ_e	Température sur la face extérieure de la paroi
P_{pi}	Pression partielle de la vapeur d'eau à l'intérieur
P_{pe}	Pression partielle de la vapeur d'eau à l'extérieur
B	Coefficient de transfert
q	condensation
P_{si}	Pression saturante intérieure de la vapeur d'eau
g_a	Flux arrivant
g_e	Flux entrant
T_{mi}	Température médiane pour l'intérieur
T_{me}	Température médiane pour l'extérieur
ΔT_s	Choc thermique saisonnier
$\Delta \ell$	Variation linéaire
ℓ_o	Longueur initiale
α	Coefficient de dilatation linéaire
σ_c	Contrainte de compression
σ'_t	Contrainte de traction
τ	Taux d'humidité critique
W	Humidité absolue
W_s	Limite de saturation
T	Température
T_d	Température du point de rosée

Symbole	Définition
P_p	Pression partielle
P	Pression
V	Volume
R	Constante des gaz parfaits
$W_{\text{été}}$	Humidité absolue en été
W_{hiver}	Humidité absolue en hiver
g	Quantité de vapeur d'eau traversant la paroi
μ	Facteur de résistance de diffusion d'un matériau
S_D	Épaisseur de la couche d'air ayant la même perméance qu'une couche de matériau d'épaisseur e
P_{pc}	Pression partielle du plan de contact
P_{pi}	Pression partielle intérieure

Symbole	Définition
P_{pe}	Pression partielle extérieure
θ_c	Température du plan de contact
θ_{ce}	Température du plan de contact (isolant à l'extérieur)
θ_{ci}	Température du plan de contact (isolant à l'intérieur)
Indice	Définition
n	Élément traversé (plâtre, enduit hydraulique, béton)
pl.	Plâtre
b.	Béton
e.h.	Enduit hydraulique