

Matériaux, parois et humidité

🏠 **Samuel Courgey** - formateur, co-auteur d'ouvrages de référence 🏠

Pour tout professionnel du bâtiment, la gestion de l'humidité est une réelle préoccupation. Chacun sait en effet que pour générer des bâtiments sains, performants et pérennes, il est nécessaire de s'affranchir de tout risque lié à l'humidité. Et ce, qu'ils proviennent de remontées capillaires, d'infiltrations d'eau de pluie, d'accidents domestiques ou d'excès de vapeur d'eau à l'intérieur des parois.

La plupart de ces points est renseigné dans les règles de l'art (normes, DTU, CPT, règles pro...), la documentation technique des fabricants, et les avis d'experts (ATEc, DTA, ETN...). On y apprend comment gérer les toitures, les tours de baies, le sol des salles d'eau, les bas de murs... Par contre, un sujet est encore approché succinctement en France, celui qui concerne la maîtrise des risques liés à la condensation, à l'intérieur des parois, de l'humidité provenant de l'air intérieur.

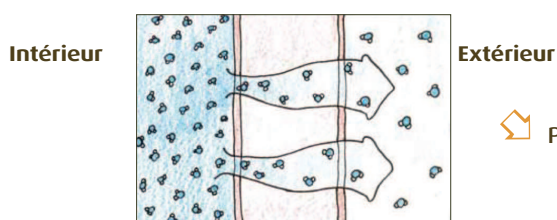
Prenons la loupe pour comprendre les phénomènes en jeu

Pour la même molécule d'eau, nous avons communément deux états à l'intérieur de nos parois : l'eau et la vapeur d'eau. Chacun a des comportements propres.

// La vapeur d'eau

Selon les sources d'humidité avoisinantes, l'air comporte une quantité plus ou moins importante de vapeur d'eau. On parle d'« humidité absolue », elle s'exprime en gramme (de vapeur d'eau), par kg (d'air sec).

De manière analogue aux calories, qui cherchent à passer des espaces chauds aux espaces froids, un air contenant beaucoup de vapeur d'eau cherche à s'équilibrer avec les masses d'air moins chargées. Sous nos climats, ceci génère en hiver une pression de vapeur d'eau de part et d'autre des parois de l'enveloppe des bâtiments qui va, sauf exception, de l'intérieur vers l'extérieur.



🏠 Pression de vapeur d'eau à l'intérieur d'une paroi en hiver

Le flux de vapeur d'eau est d'autant plus important que :

- la différence entre humidité intérieure et extérieure est grande
- les matériaux se laissent traverser par la vapeur d'eau.

// La vapeur d'eau peut se condenser, l'eau s'évaporer

Deux phénomènes sont à l'origine de ces changements de phases.

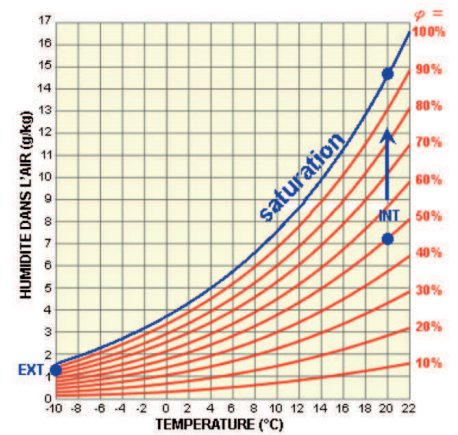
1. Condensation par saturation de vapeur d'eau :

Plus un air est chaud, plus il est capable d'accepter de la vapeur d'eau sans qu'elle ne se condense. De fait, un air humide qui refroidit peut arriver à saturation de vapeur d'eau. L'excès de vapeur d'eau, c'est-à-dire la quantité que l'air ne peut plus accepter à une nouvelle température, se condense. C'est le « point de rosée ». Ce phénomène arrive souvent en hiver dans les parois de nos bâtiments.

🏠 Diagramme de Mollier

En liant température et humidité de l'air, le diagramme de Mollier permet de repérer les situations où l'excès de vapeur d'eau contenue dans l'air condense.

Prenons l'exemple d'un air intérieur à 20 °C comportant 7,3 g de vapeur d'eau. S'il rencontre des masses d'air froid, comme par exemple en traversant une paroi en hiver, il va atteindre son taux d'humidité maximal à 9.5 °C, et donc commencer à condenser. C'est le « point de rosée », ou « humidité saturante » (courbe bleue correspondant aux humidités relatives (HR) de 100%).



2. Condensation capillaire :

Lorsque l'humidité de l'air augmente, la majorité des matériaux de construction a la capacité d'en fixer une partie sous forme d'eau à l'intérieur de ses cavités. On parle de « condensation capillaire ». Inversement, lorsque l'humidité de l'air diminue, cette eau condensée redevient vapeur.

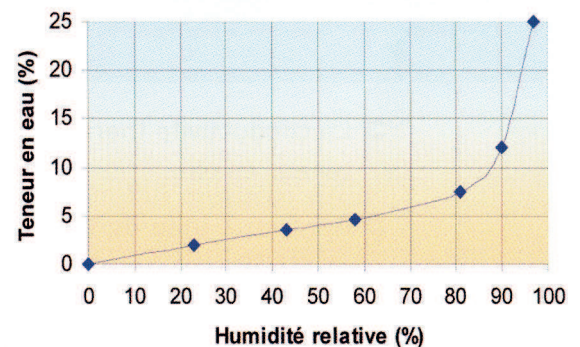
C'est un phénomène avec lequel certains acteurs composent, en addition à l'utilisation de matériaux ouverts à la vapeur d'eau, pour :

- **améliorer le confort intérieur** (on parle d'inertie hydrique, on compose avec la chaleur latente de l'eau)
- **limiter les risques de condensation par saturation de vapeur d'eau** (la vapeur d'eau qui se fixe à l'intérieur des matériaux limite le taux d'humidité de l'air, reportant ainsi l'atteinte du point de rosée).

De telles parois sont dites « perspirantes ».

🏠 Courbe de sorption d'un béton de chanvre

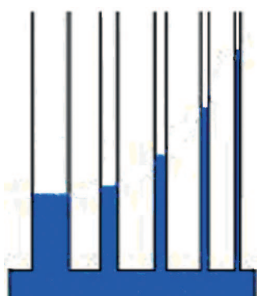
La courbe de sorption permet de visualiser le comportement hygroscopique d'un matériau. Selon sa capacité à fixer plus ou moins d'eau dans une plage d'humidité courante, on dira qu'un matériau est très hygroscopique, moyennement hygroscopique, ou non-hygroscopique.



// L'eau

Si la vapeur d'eau ne génère aucun désordre à l'intérieur des parois, ce n'est pas le cas une fois qu'elle est condensée. Là, nous avons alors de l'eau sous forme liquide, qui, si elle persiste au-delà d'un certain temps et d'une certaine concentration, peut causer des dommages (pourrissement, affaissement, détérioration de la tenue mécanique, du pouvoir isolant...).

En attendant les conditions qui lui permettent de s'évaporer (élévation de la température, diminution de l'humidité ambiante...), divers phénomènes poussent l'eau à se déplacer à l'intérieur des parois. Le plus important d'entre eux fait migrer l'eau des espaces humides aux espaces plus secs par capillarité. Appelé « transport capillaire », c'est un phénomène avec lequel composait la construction traditionnelle pour limiter les risques liés à l'humidité. Car, en permettant à l'eau contenue dans les parois de migrer, on évite les zones à trop forte concentration. Et, en lui permettant de rejoindre les parements, on facilite grandement son évaporation.



🏠 Fonctionnement capillaire

Plus la structure d'un matériau s'apparente à des tubes fins et continus, plus les déplacements d'eau s'y feront aisément.

// Comportement des matériaux à l'humidité - Grandeurs

1. Comportement à la vapeur d'eau

- **Le facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau** : μ (mu), sans unité, indique dans quelle mesure un matériau/matière (le béton, le plâtre...), s'oppose à la migration de vapeur d'eau. La référence étant l'air sec immobile, un matériau ayant un μ de 30 résiste 30 fois plus à la diffusion de vapeur d'eau que l'air.
- **La résistance à la diffusion de vapeur d'eau** (S_d), en mètre, indique dans quelle mesure un matériau / produit (béton banché de 20, plaque de plâtre de 13 mm...), s'oppose à la migration de la vapeur d'eau¹.

On obtient S_d en multipliant le coefficient μ (du matériau) par l'épaisseur (du produit) : $S_d = \mu \cdot e$.

Plus le S_d d'un matériau est grand, plus il s'oppose à la migration de la vapeur d'eau.

Exemples de S_d de matériaux courants :

Matériaux très ouverts à la (migration de) vapeur d'eau :

- Plaque de plâtre de 13 mm : $S_d \approx 0.10$ m
- Pare-pluie usuel : $S_d < 0.18$ m
- Rouleau de laine isolante de 30 cm (laine de verre, de chanvre...) : $S_d \approx 0.30$ m
- Enduit traditionnel de 2 cm, à la chaux ($S_d \approx 0.50$ m) ou au ciment ($S_d \approx 1.00$ m)

Matériaux moyennement ouverts à la (migration de) vapeur d'eau :

- Panneaux OSB de 12 mm : $S_d \approx 2.4$ m
- Bloc de béton cellulaire de 37 cm : $S_d \approx 3$ m

Matériaux fermés à très fermés à la (migration de) vapeur d'eau :

- Polystyrène de 10 cm : $S_d \approx 10$ m
- Pare vapeur usuel : $S_d \approx 18$ m
- Béton banché de 20 cm : $S_d \approx 20$ m
- Pierre de granit de 25 cm : $S_d \approx 2500$ m
- Verre, métal, faïence... : $S_d = +\infty$

2. Comportement à l'eau

Les grandeurs qui permettent d'exprimer l'**aspect capillaire** d'un matériau sont au nombre de trois :

- le coefficient d'absorption d'eau, symbolisé A , en $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$
- le coefficient de transport d'eau liquide par succion, symbolisé D_{ws} , en m^2/s
- le coefficient de transport d'eau liquide par redistribution, symbolisé D_{ww} , en m^2/s .

Même si la situation tend à évoluer, les communications sur le sujet se contentent souvent de classer les matériaux selon leur aspect plus ou moins capillaire. Exemples de comportements capillaires :

- **Matériaux non ou très peu capillaires** : verre, métaux, plastiques, polystyrène, laines minérales, liège expansé, matériaux hydrofugés...
- **Matériaux peu à moyennement capillaires** : Bois perpendiculaire aux fibres, majorité des pierres naturelles, enduits à base de ciment...
- **Matériaux moyennement à fortement capillaires** : bois dans le sens des fibres, enduits terre ou chaux traditionnels, calcaires poreux, briques, ouate de cellulose, plâtre...

^{1/} Si μ et S_d s'imposent dans le bâtiment en Europe, le monde scientifique exprime plutôt la capacité à laisser plus ou moins migrer la vapeur d'eau d'un matériau/matière par la valeur ϖ (**perméabilité**, usuellement en $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$), où $\varpi = 0.09/\mu$, et celle des matériaux/produit par la valeur **P** (**perméance**, usuellement en $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}$), où $P = 0.09/S_d$

^{2/} Excepté pare vapeur et pare pluie (DTU 31.1), OSB, enduit chaux et ciment (divers), les valeurs μ retenues pour les calculs des S_d proviennent de la norme NF EN 12524.

Conditions pour des parois pérennes

Si les phénomènes en jeu peuvent quelquefois paraître complexes, les principes de bases à respecter sont souvent d'abord emprunts de bon sens. Avec en premier lieu un rappel > **pour limiter les risques dus à la condensation de vapeur d'eau dans les parois, il faut d'abord et avant tout :**

- **renouveler régulièrement l'air intérieur**
- **avoir une réelle étanchéité à l'air entre l'air intérieur et l'isolant³.**

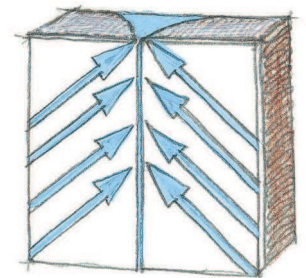
Ces conditions sont estimées respectées si :

- **le système de ventilation assure les renouvellements d'air réglementaires pour le tertiaire** (voir principalement les divers Règlements Sanitaires Départementaux) ;
- **l'étanchéité respecte les niveaux demandés par le label BBC-effinergie**, et encore mieux, ceux imposés par le « passif ».



Essai de quantification des infiltrations de vapeur d'eau dues à un pare-air non continue.

Avec une fente de 1mm pour 1m² d'isolant, la quantité de vapeur d'eau qui entre par jour dans le mur est de 800 g contre quelques grammes avec un pare vapeur ou un frein de vapeur continu⁴.



// Principes à respecter pour les parois ossature bois

1. Le ou les matériaux qui séparent l'isolant de l'air extérieur doivent être très ouverts à la vapeur d'eau. S'imposer un Sd cumulé inférieur à 0.18 m permet de respecter cette condition, et, en plus, d'être conforme aux règles de l'Art⁵.

2. On demandera au matériau assurant l'étanchéité à l'air de limiter également l'entrée de la vapeur d'eau dans la paroi. Que ce soit un panneau ou une membrane, on retiendra un Sd supérieur à 1-2 mètres. Les DTU 31.1 (charpente) et 31.2 (ossature bois), qui exigent un Sd supérieur à 18 m, respectent cette condition⁶.

// Principes à respecter pour les murs maçonnés de type monomurs

1. On choisira un enduit extérieur très ouvert à la migration de vapeur d'eau, et de, plus capillaire (Attention à l'utilisation d'adjuvants, particulièrement d'hydrofuges, qui peuvent réduire l'ouverture à la vapeur d'eau comme l'aspect capillaire d'un enduit).

// Principes à respecter pour les murs isolés par l'extérieur

1. Le ou les matériaux qui séparent l'isolant de l'air extérieur doivent être très ouverts à la vapeur d'eau. Dans le cas d'un enduit, on vérifiera également qu'il soit capillaire (Attention à l'utilisation d'adjuvants).

2. Dans le cas d'une paroi présentant des risques de reprises d'humidité (absence de rupture capillaire radicale...) et particulièrement si le parement intérieur est peu capillaire, on souhaitera en plus un isolant ouvert à la migration de vapeur d'eau.

3. En présence de matériaux putrescibles (nez de poutre, colombages, paille de torchis...), ou si de la terre crue garde un rôle structurel (pisé, pierres hourdées à la terre...), on estime que le risque dû à un excès d'humidité est très important. Dans ce cas, une solution de plus en plus préconisée à l'étranger consiste à vouloir, en plus des préconisations précédentes, une continuité capillaire entre intérieur et extérieur.

3/ Plus exactement : entre l'air intérieur et la partie extérieure (froide) de l'isolant.

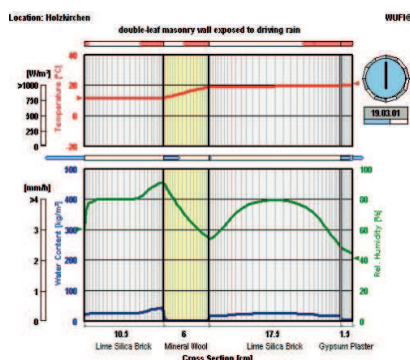
4/ Source : Institut de physique du bâtiment- Stuttgart. Essai réalisé sur un isolant fibreux classique (ici de la laine minérale), avec une différence de pression ext/int de 20 Pa.

5/ Attention, les DTU 31.1 et 31.2 (NF P21-203 et 204) manquent de précision à cet égard : Si plusieurs matériaux séparent l'isolant de l'air extérieur, ce n'est pas le Sd du seul pare-pluie qui est à prendre en compte, mais la somme de leurs différents Sd.

6/ En imposant un matériau assez fermé à la migration de vapeur d'eau, le respect des DTU s'oppose ici à la réalisation de parois perspirantes.

// Principes à respecter pour les murs isolés par l'intérieur

1. On choisira un enduit extérieur très ouvert à la migration de vapeur d'eau, et de, plus capillaire (Attention à l'utilisation d'adjuvants).
2. On demandera au matériau assurant l'étanchéité à l'air de limiter également l'entrée de la vapeur d'eau dans la paroi. Que ce soit un panneau ou une membrane, on retiendra un S_d supérieur à 1-2 mètres. Suivre les conventions, qui invitent souvent à poser un pare-vapeur⁷, respecte cette condition⁸.
3. Dans le cas d'une paroi présentant des risques de reprises d'humidité (absence de rupture capillaire radicale...), on pourra souhaiter, en addition à un isolant ouvert à la vapeur d'eau, que le matériau assurant l'étanchéité à l'air coté intérieur reste relativement ouvert à la migration de vapeur d'eau⁹.
4. En présence de matériaux putrescibles, ou si de la terre garde un rôle structurel, une solution de plus en plus préconisée à l'étranger consiste à vouloir, en plus des préconisations précédentes, une continuité capillaire entre l'intérieur et l'extérieur.



🖱 Saisie d'écran du logiciel WUFI®

La mise sur le marché de logiciels intégrant l'ensemble des paramètres extérieurs (température, humidité, vent, ensoleillement, pluie battante...), comme ceux des matériaux (μ , comportements hygroscopique et capillaire...), permet désormais aux BET qui investissent sur le sujet, de confirmer la validité de solutions constructives.

Sources : Illustrations 1, 2, 4 et 6 : Arcanne | Illustration 3 : «Maisons bois chanvre et paille», S. Courgey. Ed. SEBTP. Projet Montholier ADEME/FFB/CEBTP | Illustration 5 : «La conception bioclimatique», J-P.Oliva & S.Courgey. Ed. Terre Vivante. Dessin : G. Bertheaud.

7/ Dans l'attente de définitions explicites, est appelé «pare vapeur» dans ce document un matériau assurant l'étanchéité à l'air et ayant un S_d supérieur à 5 à 10 m. En opposition, un «frein de vapeur» fera référence à un matériau ayant un S_d compris entre 1 et 3 m.

8/ En imposant un matériau assez fermé à la migration de vapeur d'eau, sauf à utiliser des membranes que les avis d'experts autorisent (Vario®, Intello®), le respect des conventions s'oppose ici à la réalisation de parois perspirantes.

9/ On préférera donc un «frein de vapeur» à un «pare vapeur», sachant que de nouvelles membranes, à S_d évolutif (qualifiée d'hygro-variable, hygrorégulante... tel que les produits Vario®, Intello®, Ampatex Resano®...) peuvent séduire pour cette utilisation.