

Conception hygrothermique de l'enveloppe des bâtiments bois : aide de la modélisation et verrous à lever

Romain Rémond
Enstib, Université de Lorraine
Epinal, France



1. Conception hygrothermique des enveloppes

Dans un bâtiment, les activités des occupants produisant de la vapeur, l'humidité intérieure est la plus part du temps supérieure à celle de l'air extérieur. Dans ce cas, un transfert de vapeur s'effectue au sein de l'enveloppe de l'intérieur vers l'extérieur. Les matériaux d'isolation thermique étant très perméable à la vapeur, un risque de condensation dans la masse est alors possible dans les parois isolées. On observe depuis une vingtaine d'années que la diminution constante de la consommation des habitations, en augmentant l'isolation de l'enveloppe, en améliorant leur étanchéité à l'air et contrôlant mieux le renouvellement de l'air intérieur s'est accompagnée d'une augmentation des dégâts liés à l'humidité. Ces problèmes pathologiques ont différentes origines, erreurs de pose, erreurs de conception, erreurs dans le choix des matériaux et conditions d'utilisation, etc.

Depuis de nombreuses années, les technologues du bâtiment utilisent la méthode de Glaser (Glaser, 1958) (calculs simples du profil de pression de vapeur en régime permanent) pour concevoir l'agencement des couches dans la paroi. Elle donne une réponse binaire sur le risque de condensation et est donc très simple à interpréter. Mais cette méthode considère des transferts d'humidité par diffusion totalement découplé des transferts de chaleur, les matériaux sont, en générale, considérés inertes à la vapeur. Elle est donc mal adaptée aux matériaux biosourcés qui peuvent être fortement hygroscopiques. Les BET du bâtiment abandonnent ainsi progressivement la méthode de Glaser pour la conception hygrothermique des enveloppes et utilisent des outils de simulation dynamique tel que le logiciel commercial WUFI (Fraunhofer-Institut).

Ce besoin de tels outils s'est renforcé ces dernières années car l'utilisation croissante de matériaux biosourcés dans l'enveloppe apportent de nombreuses questions qui dépassent la simple question du risque de condensation dans la masse : impacts de l'hygroscopicité des matériaux sur le confort des occupants, sur la facture énergétique.

D'un point de vue purement énergétique, un calcul approché permet de montrer de façon convaincante l'importance relative des transferts de chaleur latente sur les déperditions thermiques des maisons fortement isolées (T. Duforestel 2015). Le niveau de performances thermiques demandé actuellement dans les bâtiments neufs ne permet donc plus de négliger l'impact des transferts d'humidité sur les transferts de chaleur comme nous le faisons par le passé. Le recours à de tels outils de simulation thermo-hydrigue dynamique devient donc indispensable.

Mais la confrontation des prédictions de ces outils numériques avec les mesures montre que des écarts demeurent lorsque l'enveloppe utilise des matériaux fortement hygroscopiques (Fig.1). Ces résultats ont amené les scientifiques à s'interroger sur la fiabilité des méthodes de caractérisation des propriétés de transferts d'humidité (Duforestel 2014, ANR Hygrobat), et sur un raffinement nécessaire des phénomènes physiques à prendre en compte dans la modélisation des transferts masse-chaleur.

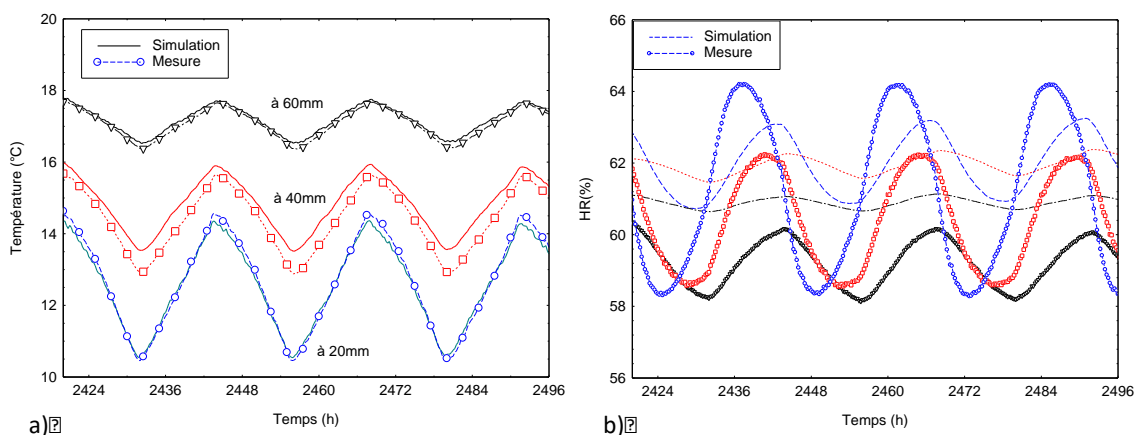


Illustration 1 : Comparaison prédictions-mesures de la température (a) et de l'humidité relative (b) en trois points d'un isolant de fibres de bois soumis à des conditions cycliques (ANR Hygrobat).

2. Verrous à lever

2.1. Effet de l'histoire des variations d'humidité

Un matériau hygroscopique tend constamment à rejoindre un équilibre hygrothermique avec l'air qui l'entoure mais cet équilibre va dépendre de l'histoire des variations des conditions climatiques. Si la littérature est riche sur les isothermes de sorption des matériaux de construction, l'hystérésis et sa formulation l'est beaucoup moins. Pourtant, l'utilisation d'une courbe de sorption unique dans les codes numériques peut conduire à des erreurs significatives dans l'estimation de la teneur en eau d'équilibre lorsque l'humidité relative varie de façon plus ou moins cyclique, comme c'est le cas en conditions réelles.

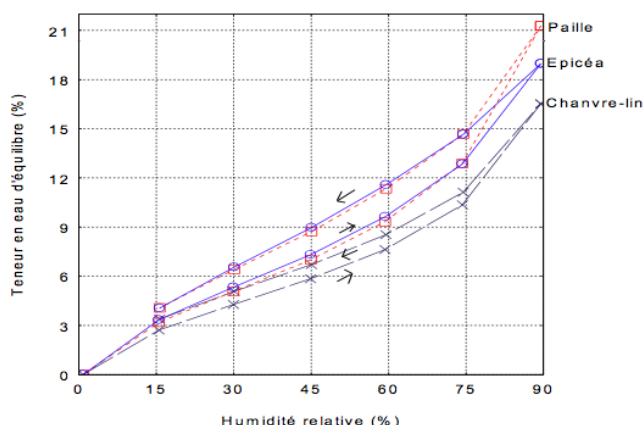


Illustration 2 : Comparaison des isothermes en adsorption et désorption de l'épicéa, de la paille de blé et d'un mélange chanvre-lin à 35°C.

2.2. Diffusion double échelle

Lors d'un changement de conditions environnantes, la vitesse pour tendre vers une nouvelle teneur en eau d'équilibre va dépendre de la facilité avec laquelle l'eau migre dans le matériau.

Pour les isolants à base de fibres végétales la formulation actuelle des modèles ne permet pas de saisir le comportement réel de ces produits. Pour l'expliquer nous avons besoin de rappeler les différents mécanismes de transfert au sein des matériaux bio-sourcés intervenant au cours de ces essais de sorption. Trois mécanismes interviennent avec leur propre constante de temps : la diffusion fickienne d'eau liée à travers les parois cellulaires, la diffusion de vapeur à travers les vides cellulaires et la sorption d'humidité dans la paroi. Le bois par exemple étant un matériau à phase gazeuse faiblement connectée, la résistance à la diffusion se situe principalement au niveau de la paroi cellulaire. La transformation du matériau natif en un matériau reconstitué avec des pores ouverts change, à l'échelle locale, la contribution des différents mécanismes de diffusion. La phase gazeuse connexe devient la phase conductrice de la vapeur et les fibres, non inertes, apparaissent comme la phase de stockage de l'humidité. Comment cela se manifeste-t-il à l'échelle globale du matériau ? Des travaux récents (Rémond et Almeida 2011, Perré 2007) montrent par exemple l'échec de la formulation habituelle pour la diffusion (loi de Fick) qui requiert une modélisation aux deux échelles spatiales pour approcher le comportement réel : diffusion intra-fibre (locale), diffusion de la vapeur d'eau à travers les vides interconnectés (globale). L'intensité du flux de vapeur peut-être considérablement surestimée par la formulation habituelle.

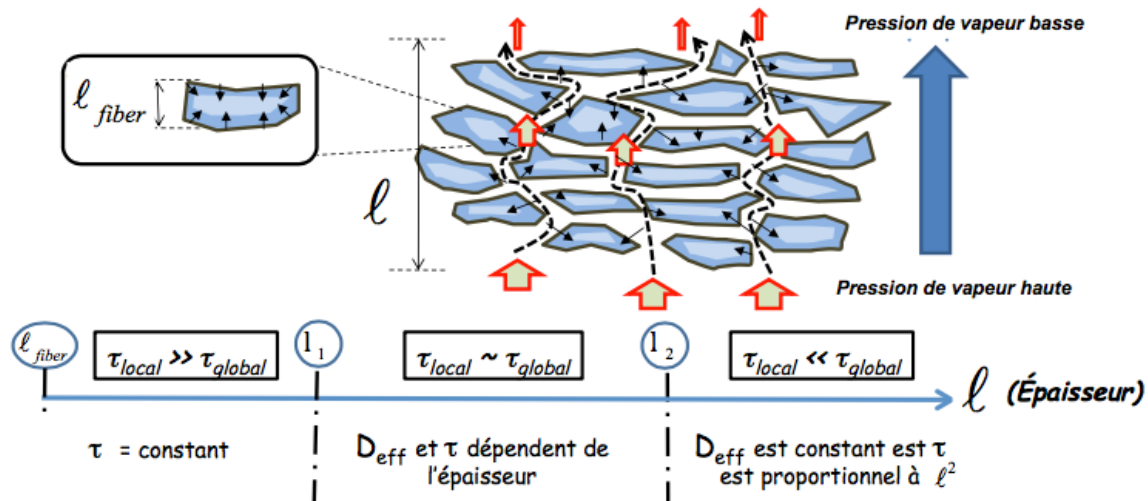


Illustration 3 : Schématisation des mécanismes de diffusion dans un amas de fibres ainsi que les temps et les dimensions caractéristiques associés. La comparaison du temps caractéristique global de la diffusion (τ_G) par rapport à sa valeur au niveau local (τ_l) permet de dissocier trois comportements (issu de Rémond et Almeida 2011).

2.3. Caractérisation dynamique des propriétés

La perméabilité à la vapeur des matériaux est mesurée à l'aide de la méthode de la coupelle. Cette méthode a été élaborée afin de pouvoir utiliser la méthode de Glaser pour la conception d'une enveloppe. Mais les travaux de Duforestel (2015) montrent clairement que lors d'un essai à la coupelle le gradient de pression partielle de vapeur imposé s'accompagne inévitablement d'un gradient de pression totale. Pour certains matériaux le flux massique mesuré comporte une composante advective liée au gradient de pression total qui fausse la mesure. Cette méthode doit donc être revisitée pour pouvoir alimenter les modèles avec des données fiables.

De même des écarts de perméabilité à la vapeur peuvent apparaître lorsque l'on caractérise un même matériau selon la méthode de la coupelle (régime permanent) ou selon une méthode dynamique (régime transitoire) pour les raisons évoquées dans la partie précédente. De nouvelles méthodes apparaissent pour caractériser la dynamique des transferts masse-chaleur au sein des matériaux de construction (Perré et al. 2015).

3. Références

- [1] Duforestel, T. (2015). Des transferts couplés de masse et de chaleur à la conception bioclimatique : recherches sur l'efficacité énergétique des bâtiments, mémoire d'HDR, l'Université Claude Bernard Lyon 1.
- [2] Glaser, H. (1958). Simplified calculation of vapour diffusion through layered walls involving the formation of water and ice. *Kältetechnik* 10, H 11, S. 358–364 und H 12, S. 386–390.
- [3] HYGROBAT - Vers une méthode de conception HYGRO-thermique des BATiments performants. Programme ANR Habisol-2010 (Ref. ANR-10-HABI-0005)
- [4] Perré P. (2007). Multiscale aspects of heat and mass transfer during drying, *Transport in Porous Media*, 66: 59-76.
- [5] Perré, P., Pierre, F., Casalinho, J., & Ayouz, M. (2015). Determination of the mass diffusion coefficient based on the relative humidity measured at the back face of the sample during unsteady regimes. *Drying Technology*, 33(9), 1068-1075.
- [6] Rémond, R. et G. Almeida. (2011) Mass diffusivity of low-density fibreboard determined under steady- and unsteady-state conditions: Evidence of dual-scale mechanisms in the diffusion. *Wood Material Science and Engineering*, 6(1-2) :23–33.