

La Diatomite Algérienne un Matériau d'Isolation Hygrothermique Ecologique pour l'Habitat

FRAINE Youssouf^{1, *}, SELADJI Chakib²

^{1,2}Laboratoire Energétique et Thermique Appliquée (ETAP), Université de Tlemcen, Algérie

*Correspondance: youfraine@hotmail.fr

Résumé :

L'intégration des matériaux passifs innovants dans les enveloppes de bâtiment est un moyen pertinent de réduire la consommation d'énergie et d'assurer un niveau élevé de confort intérieur de l'habitat. Le polystyrène expansé (EPS) est l'un des matériaux le plus utilisé dans le secteur des constructions résidentiels et commerciales en Algérie. Tandis que ce dernier contient le hexabromocyclododecane (HBCD), qu'est considéré comme un matériau persistant organique polluant (POP). La matière diatomite est très abondante en Algérie, se caractérise par une faible conductivité thermique et une porosité élevée. Dans la présente étude, cette dernière est suggérée comme une solution efficace pour remplacer le EPS. Un modèle bidimensionnel de transfert transitoire de chaleur et d'humidité (HAM) a été développé, et résolu numériquement à l'aide du logiciel COMSOL Multiphysics, afin d'étudier, et comparer l'effet de ces deux matériaux sur la performance hygrothermique d'un mur multicouche en brique creuse sous les conditions climatiques de la ville de Tlemcen en Algérie.

Mots clefs : Milieu poreux ; Transfert de chaleur et de l'humidité (HAM); Diatomite; Brique creuse ; COMSOL multiphysics.

1. Introduction :

Dues aux alternances (jour / nuit) et (hiver / été), les fluctuations externes de la température et de l'humidité relative sont considérées comme des facteurs extrêmement importants affectant le cadre de vie environnant. Le système de chauffage, de ventilation et de climatisation (CVC) utilisé pour contrôler la température et l'humidité relative de l'environnement intérieur de l'enveloppe du bâtiment est responsable de 45% de la consommation totale d'énergie du monde (Wu et al. 2017, Chen et al. 2015, Ferroukhi. 2016). À cet égard, plusieurs méthodes ont été développées pour réduire l'utilisation du système CVC et augmenter le niveau de confort du cadre de vie, tandis que les matériaux passifs innovants sont présentés comme la meilleure solution pour réduire la consommation d'énergie (Chen et al. 2015, Qin et al. 2017, Nicol et al. 2002). Les matériaux de contrôle de l'humidité (HCM) sont développés pour stabiliser l'humidité relative intérieure par l'absorption et par la libération de l'humidité (Vu et al. 2013, Zhou et al. 2016).

De nombreux chercheurs se sont concentrés sur l'énergie du bâtiment utilisant des modèles numériques. L'utilisation d'un modèle numérique pris en charge les phénomènes couplés de chaleur et d'humidité à travers les parois du bâtiment est essentiel. Un modèle dynamique a été développé par Tariku et al (2010) pour résoudre le problème de transfert de la chaleur, de l'air et de l'humidité existant entre l'enveloppe et la chambre. Un modèle basé sur une concentration de vapeur d'eau et de température a été fondé par Qin et al (2010), un accord important avec les résultats expérimentaux a été trouvé. Afin de fournir des données valides au modèle HAM, Desta et al (2011) ont testé le transfert couplé de chaleur, d'air et d'humidité d'un habitat. Abahri et al (2011) ont proposé un modèle unidimensionnel permettant d'évaluer le transfert couplé de chaleur et d'humidité dans des matériaux de construction poreux, ce qui a permis de simplifier le problème mathématique initial en une équation du quatrième ordre facilement

à résoudre. Un modèle dynamique couplé de transfert de chaleur et d'humidité avec condensation dans un tissu poreux avec une faible température a été résolue par Xu et al (2013).

Dans cet article, un model couplé de chaleur et d'humidité basé sur l'étude Kunzel, et al (1995) est mise en œuvre pour décrire le transfert couplé de chaleur et d'humidité dans un mur multicouche. Un logiciel de simulation numérique (COMSOL multiphasics) a été exploité pour résoudre les équations différentielles de transfert, afin d'étudier et comparer l'effet de polystyrène expansé (EPS) et la diatomite sur le comportement hygrothermique d'un mur fabriquer en brique creuse, et du mortier.

2. Description du model physique :

Un mur typique multicouche utilisé dans la construction des bâtiments Algérienne est illustré dans la figure.1. L'enveloppe est construit avec des briques creuses frittées de $30 \times 19 \times 14,5$ cm, et d'un poids de 5 à 6 kg, avec 12 cavités d'air (modèle BB12CE) (Bouchair, 2008) de section parallélépipédique ($3,5 \times 3,5\text{cm}^2$). Le mortier est placé sur les deux côtés du mur en briques, et dans les joints avec une épaisseur de 1.5 cm. Le matériau isolant est placé à l'intérieur de l'enveloppe avec une épaisseur de 2 cm.

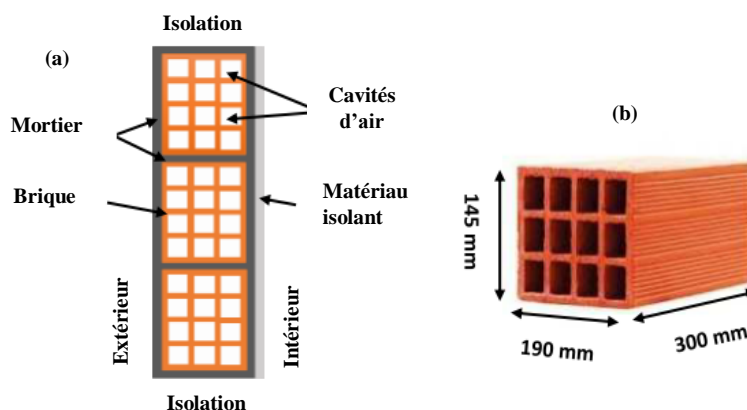


Figure.1. (a). Vue axonométrique d'un mur construit avec des briques creuses (modèle BB12CE), (b). Vue volumétrique et dimensions globales de la taille de brique utilisée dans la modélisation.

Dans cette étude, un modèle couplé de chaleur et d'humidité basé sur l'étude Kunzel, et al (2004) est mise en œuvre pour décrire le transfert couplé de chaleur et d'humidité à travers le mur multicouche, chaque matériau est considéré comme un milieu poreux homogène, l'équilibre thermodynamique est vérifié, l'air sec et la vapeur d'eau sont des gaz parfaits et incompressibles, les effets de la réaction chimique, de l'hystérésis, de la déformation, et de la gravité ne sont pas pris en compte. La température et l'humidité relative sont considérées comme un moteur de transfert pour assurer la continuité du transfert de masse dans l'interface entre les couches, contrairement à la teneur en eau, qui est discontinue comme la montre la Fig.2.

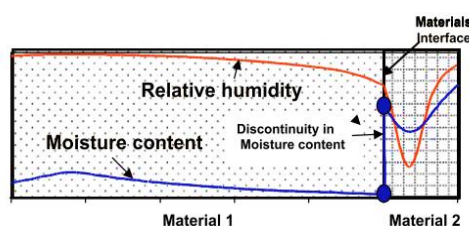


Figure.2. Profile de l'humidité relative et de la teneur en eau à l'interface de deux matériaux différents. (Tariku et al, 2010).

Due à la symétrie de la géométrie et des conditions aux limites dans la direction longitudinale du mur (direction Z), la simulation numérique de transfert de chaleur et de l'humidité dans le mur en brique creuse est adressé en deux dimensions sous les conditions climatique de la ville de Tlemcen. La surface extérieure du mur est simultanément soumise à une variation temporaire de l'humidité relative, de la température, du rayonnement solaire avec une absorptivité de $\varepsilon = 0,87$, et à une convection forcée $h_{ext} = 2,8 + 3v_{vent}$ (Korti, 2016), comme illustré dans la Figure. 3.

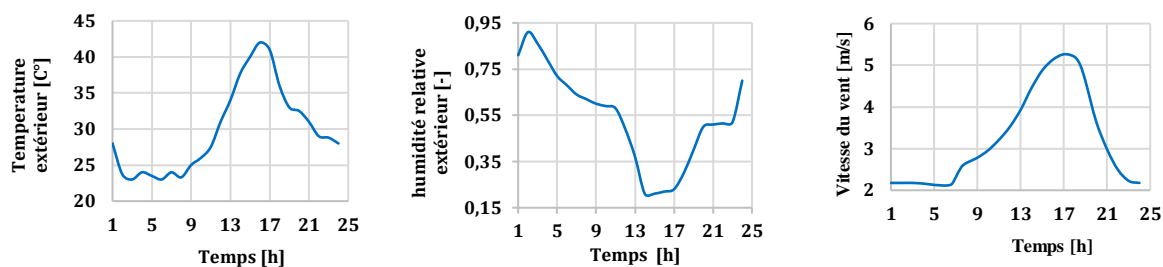


Figure.3. Variation de la température, de l'humidité relative, et de la vitesse du vent de l'air extérieur, (le jour le plus chaud le 07 aout 2017 à Tlemcen).

A l'état initial, la température, l'humidité relative, et le coefficient de convection à l'intérieur du mur sont fixées à $T_{ini} = 25 [^{\circ}C]$, $\varphi_{ini} = 0.5 [-]$, $h_{int} = 3.25 [W/(m^2 K)]$.

Les propriétés hygrothermiques des matériaux utilisés sont énumérées sur le tableau 1.

Parameters	ρ_s [Kg/m ³]	cp [J/Kg K]	λ [W/m K]	δ [Kg/m s Pa] $\times 10^{-8}$
Diatomite	650	1436	0.097	0.00295
Air	1.23	1006.43	0.026	0.0562
Brique	1600	840	0.682	0.0026
Mortier	230	920	0.6	0.000385
EPS	20	1500	0.04	0.000187

Ou ρ_s [Kg/m³] est la densité des matériaux ; cp [J/Kg K] est la capacité thermique ; λ [W/m K] est la conductivité thermique; δ [Kg / (m s Pa)] est la perméabilité.

3. Résultats et discussions :

3.1 Validation numérique :

Afin d'étudier l'effet des deux matériaux isolants sur le comportement hygrothermique du mur en brique creuse, une validation numérique du modèle de transfert de chaleur et d'humidité utilisé est nécessaire. Le modèle a été validé par rapport à un test benchmark du projet HAMSTAD (Hagentoft, 2004). Le test porte sur une solution analytique de redistribution monodimensionnelle de l'humidité dans les conditions isothermes dans une paroi homogène de 0.2 m d'épaisseur. La comparaison montre une bonne concordance entre la simulation numérique et la solution analytique comme la montre la figure.4.

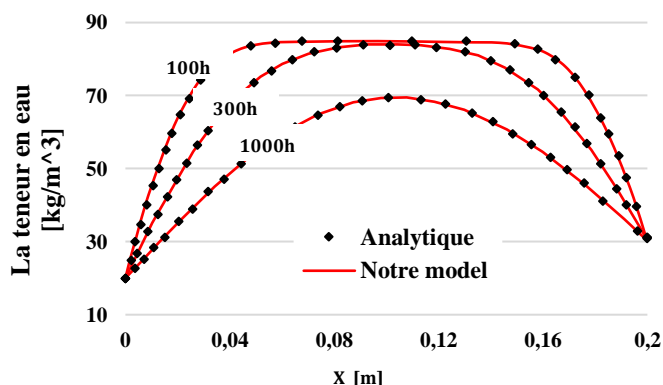


Figure.4. La redistribution de la teneur en eau dans une paroi homogène à 100h, 300h, et 1000h

3.2 Etude de cas :

L'influence de la performance hygroscopique de deux matériaux hygroscopique sur la chaleur et l'humidité dans la paroi sous les conditions climatiques de la ville de Tlemcen est analysée et comparée pendant 24 heures, (Figure.5).

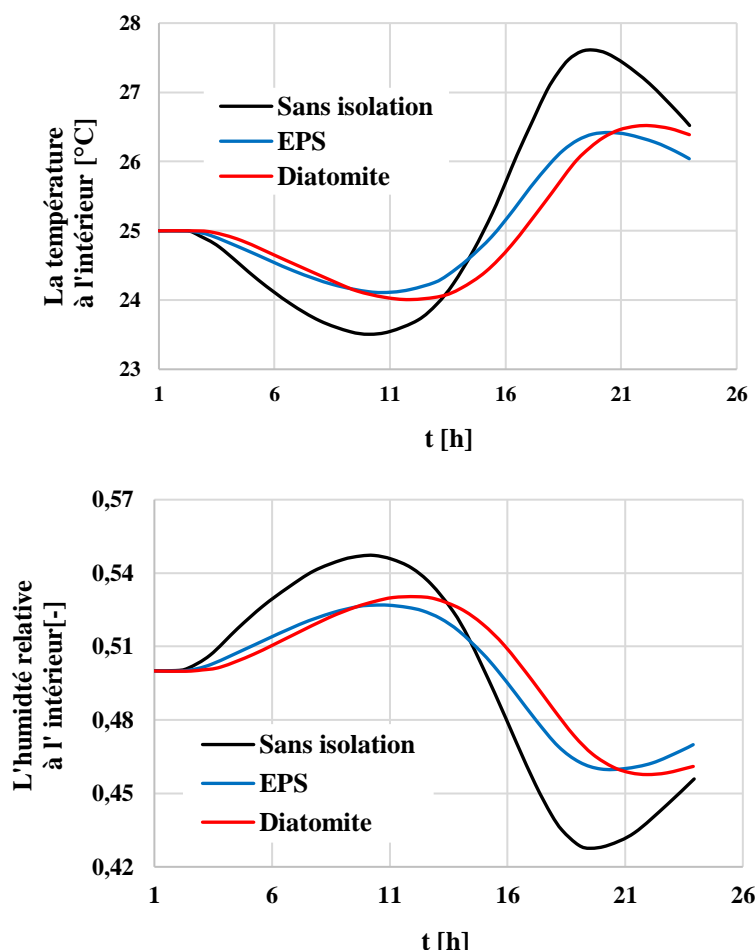


Figure.5. La variation temporaire de la température et de l'humidité relative à la surface intérieure du mur pour les deux matériaux isolants.

Comme la montre la Figure.5, il existe une différence évidente de la fluctuation de la température et de l'humidité relative à la surface intérieure de la paroi avec isolation et sans isolation. Les deux matériaux ont la capacité de stabiliser la température et l'humidité relative, une petite différence est remarquée entre le EPS et la diatomite due aux caractéristiques hygroscopique et thermique pour chaque matériaux. L'écart des deux variantes pour les deux matériaux isolants est calculé, on trouve que la température pour le EPS varie par un écart de 2.3 °C, et pour la diatomite varie par 2.5 °C, pour l'humidité relative on trouve un écart de 0.072 pour le EPS et 0.07 pour la diatomite. De l'autre côté, la réduction du flux de chaleur par le EPS est de 43.77 % par rapport la diatomite qui est de 36.2 %, calculer par l'équation (1).Figure.6.

Réduction du flux totale (%) =

$$\frac{\text{Flux totale sans isolation} - \text{Flux totale avec isolation}}{\text{Flux totale sans isolation}} * 100 \quad (1)$$

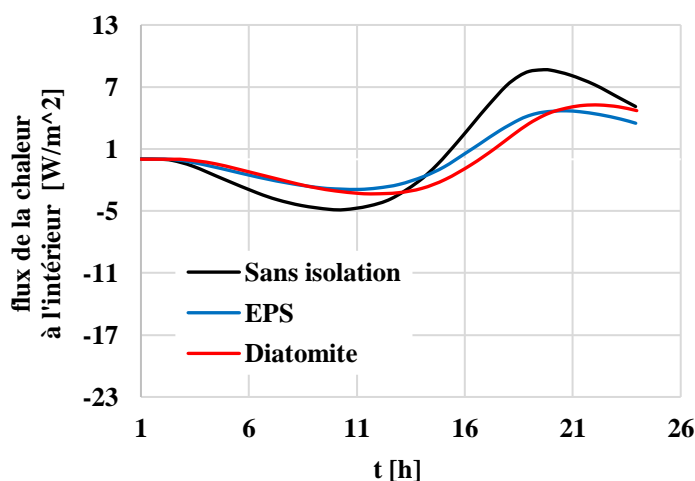


Figure.6. La variation tempore du flux de chaleur totale à la surface intérieure du mur pour les deux matériaux isolants.

4. Conclusion :

L'influence des deux matériaux passifs sur la performance hygrothermique des habitats est étudiée et analysée. Les résultats trouvés montrent que le EPS et la diatomite ont la capacité de stabiliser la température et l'humidité relative de l'environnement intérieur. Une petite déférence entre l'effet des deux matériaux sur le comportement de mur en brique creuse est observé. La diatomite algérienne peut être un matériau économique d'énergie, organique et écologique pour l'environnement, et peut être une solution future de l'Algérie pour substitué le Polystyrène expansé (EPS).

Références:

- Abahri K., *et al*, Contribution to analytical and numerical study of combined heat and moisture transfers in porous building materials, *Building and Environment*, 46 (2011) pp1354-1360.
- Bouchair A., Steady state theoretical model of fired clay hollow bricks for enhanced external wall thermal insulation, *Building and Environment*, 43 (2008) pp1603–1618.
- Chen Z., *et al*, Synthesis and characterization of composite phase change material (CPCM) with SiO₂ and diatomite as endothermal-hygroscopic material, *Energy and Proceeding*, 78 (2015), pp6.
- Desta T. Z., *et al*, Experimental data set for validation of heat, air and moisture transport models of building envelopes, *Building and Environment*, 46 (2011) pp1038-1046.
- Ferroukhi M.Y., *et al*, Hygrothermal behavior modeling of the hygroscopic envelopes of buildings: A dynamic co-simulation approach, *Building and Simulation*, 12 (2016), DOI 10.1007/s12273-016-0292-5.
- Hagentoft CE., Assessment method of numerical prediction models for combined heat, air and moisture transfer in building components: benchmarks for one-dimensional cases, *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, 27 (2004) pp327–352.
- Korti A.I.N., Numerical Heat Flux Simulations on Double-Pass Solar Collector with PCM Spheres Media, *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, 24(2) (2016) pp13.
- Kunzel H.M., Simultaneous heat and moisture transport in building components. One- and two dimensional calculation using simple parameters. Dissertation, university Stuttgart, Germany, (1995) (ISBN 3-8167-4103-7).
- Nicol J. F., *et al*, Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings, *Energy and Building*, 34 (2002), pp10.
- Qin M., *et al*, Synthesis and characteristics of composite phase change humidity control materials, *Energy Proceeding*, 139 (2017), pp6.
- Qin M. H., *et al*, Two-dimensional hygrothermal transfer in porous building materials, *Applied Thermal Engineering*, 30 (2010) pp2555-2562.
- Tariku F., *et al*, Integrated analysis of whole building heat, air and moisture transfer, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53 (2010) pp 3111-3120.
- Vu D. H., *et al*, Humidity control materials prepared from diatomite and volcanic ash, *Construction and Building Material*, 38 (2013), pp7.
- Wu Z., *et al*, Phase Change Humidity Control Material and its Application in Buildings, *Procedia engineering*, 205 (2017), pp8.
- Xu D. H., *et al*, Numerical solution of a dynamic model of heat and moisture transfer in porous fabric under low temperature, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 61(2013) pp149-157.
- Zhou B., *et al*, Experimental Study on the Hygrothermal Performance of Zeolite-Based Humidity Control Building Materials, *International journal of heat and technology*, 34 (2016), pp8.