
Caractérisation macro-hydrrique des matériaux biosourcés

Kamilia Abahri^{1*}, Rafik Belarbi², Chady El Hachem¹

¹ LMT-Cachan UMR 8535, ENS Cachan, Bâtiment Léonard de Vinci, 61 avenue du Président Wilson, 94230 Cachan, France

² LaSIE, University of La Rochelle, Avenue Michel Crépeau 17042 cedex1, La Rochelle, France

*Corresponding Author: kamilia.abahri@lmt.ens-cachan.fr

RÉSUMÉ.

Ce travail propose une caractérisation macro hydrrique des matériaux hygrscopique biosourcés, où plusieurs approches et prototypes expérimentales ont été mises en place et développés. D'une part, les isothermes de sorption désorption ont été déterminées moyennant l'utilisation de différents dispositifs : DVS (Dynamic Vapor Sorption), VSA (Vapor Sorption Analyzor), Belsorp Aqua 3. Pour cela, deux principales méthodes de mesure ont été analysées et comparées : la méthode gravimétrique et la méthode volumétrique. Ensuite, la perméabilité à la vapeur a été mesurée via la norme [ISO-12571, 01] où la sensibilité aux variations hydriques, balayées par la zone hygroscopique, a été étudiée. D'autre part, le pouvoir tampon à l'humidité a été traité par deux méthodes différentes suivies d'un classement du comportement des matériaux biosourcés testés. En dernier lieu, l'étude de rétention d'eau a été initiée. Une couverture de pression capillaire allant de 0 Pa à 107 Pa a été réalisée pour la plupart des matériaux. Celle-ci a permis de compléter les données hydriques en renseignant sur la zone super hygroscopique des matériaux testés. Les résultats obtenus sont très satisfaisants.

ABSTRACT. This paper proposes a macrohydrhic characterization of biobased materials, where several experimental approaches and prototypes have been implemented and developed. Firstly, the sorption desorption isotherms were determined through the use of different devices: DVS (Dynamic Vapor Sorption), VSA (Vapor Sorption Analyzor) Belsorp Aqua 3. For that, two main methods of measurement were analyzed and compared: the gravimetric method and volumetric one. Then, the vapor permeability was measured via the [ISO-12571, 01] norme where the sensitivity to humidity variations covered by the hygroscopic area was studied. On the other hand, the moisture buffering capacity was treated by two different methods followed by a classification of the behavior of the tested materials. Finally, the water retention study was initiated. A capillary pressure of coverage ranging from 0 Pa to 107 Pa was achieved for most materials. These later allows to complete the hygric data by filling the super hygroscopic area of the tested materials. The results are very satisfactory.

MOTS-CLÉS : isotherme de sorption désorption, perméabilité, pouvoir tampon, rétention d'eau, bois, OSB.

KEY WORDS : sorption desorption isotherm, permeability, moisture buffer value, water retention, wood, OSB.

1. Introduction

Le choix préliminaire des matériaux de construction joue un rôle important dans la réussite d'un projet Haute Qualité Environnementale (HQE). Face à ces préoccupations et avec la mise en place du grenelle de l'environnement, le retour vers les matériaux de construction naturels s'impose comme une des clés de l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments. Ces matériaux majoritairement hygroscopiques sont connus par leur capacité à fixer une quantité mesurable d'humidité de l'air environnant ; ce qui peut entraîner des modifications sensibles dans leur caractère physique. Il est donc important de prédire le comportement hydrique de ces matériaux dans le but d'améliorer leur performance énergétique et de prévenir certains phénomènes de dégradation et de moisissures vis-à-vis des impacts de l'environnement intérieur et extérieur.

Dans ce contexte, la problématique d'évaluation fine des propriétés hydriques des matériaux hygroscopiques est posée avec acuité. La connaissance d'une telle réponse est aussi importante tant sur le plan de la prédiction de la qualité des ambiances habitables que sur l'évaluation de la durabilité des structures.

C'est pourquoi ce travail propose une procédure de caractérisation expérimentale fiable des propriétés hydriques des matériaux de construction biosourcés utilisés à la fois dans l'isolation thermique et dans les enveloppes du bâtiment. Principalement, il s'agit d'un isolant à base de fibre de bois mince, de l'OSB et du bois épicea. Ces matériaux sont étudiés dans le cadre du projet collaboratif HYGRO-BAT, financé par l'ANR dans le programme HABISOL 2010. Le programme ambitieux de ce projet est porté par un consortium composé de sept laboratoires universitaires reconnus (LASIE, LOCIE, CETHIL, LERMAB, LMDC, LGPM, TREFLE), de trois centres type EPIC (CEA-INES, CRITT-Bois, CSTB) et de trois industriels (EDF R&D, LIGNATEC, NR GAÏA).

2. Evaluation des isothermes de sorption désorption

Face à la lenteur de la méthode gravimétrique traditionnelle basée sur l'utilisation de solutions salines [ISO - 12571, 00], plusieurs dispositifs de mesure d'isothermes de sorption-désorption permettent de réduire le temps d'essai. Parmi ceux-ci, on peut citer le DVS (Dynamic Vapor Sorption) et le VSA (Vapor Sorption Analyzer) [TRA 10]. Ils sont connus aussi par des méthodes dynamiques. D'autres méthodes nommées « méthodes volumétriques » permettent aussi de réduire considérablement le temps de mesure, tout en travaillant avec de très petits échantillons combinés avec un débit dynamique de la vapeur. BELSORP-aqua3 est l'un des équipements qui utilisent la théorie volumétrique pour la mesure des isothermes de sorption désorption.

Dans un premier temps, deux types de bois à structures porales différentes ont été comparés. Il s'agit du bois tangentiel où les cernes sont dans le sens longitudinal et le bois radial où les cernes ont une distribution radiale. C'est la structure cellulaire du bois (tridimensionnelle) qui lui confère une telle caractéristique de variabilité de distribution porale. Il présente alors trois directions principales (longitudinale, radiale et tangentielle) et trois plans ligneux. Le plan tangentiel signifie qu'il est parallèle aux cernes de croissance de la tige. Par contre, le plan radial est tangent aux cernes de croissance.

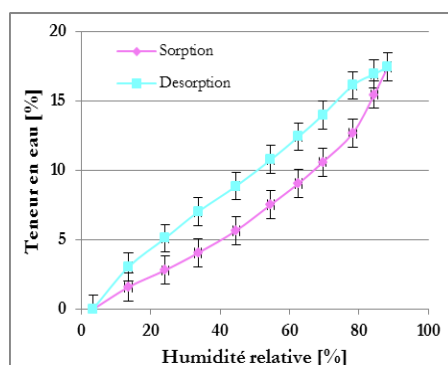


Figure 1. Isothermes de sorption désorption à 20°C du bois de type Etroit Tangentiel.

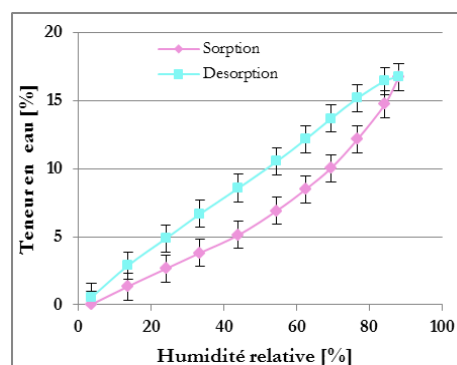


Figure 2. Isothermes de sorption-désorption à 20°C du bois de type Etroit Radial.

Les isothermes de sorption désorption obtenues pour ces deux types de bois sont indiquées sur les figures 1 et 2. Selon ces courbes, l'orientation des échantillons ne semble pas trop affecter les boucles d'hystérésis. Le bois

tangentiel absorbe l'eau légèrement plus que le bois radial. Ce surplus est en moyenne de 5.63% de teneur en eau. Comme l'adsorption est pilotée par les plus gros pores, la distribution tangentielle favorise le remplissage des canaux par rapport à la distribution radial.

2.1. Comparaison entre les techniques

Confronter les deux méthodes VSA, DVS et BELSORP apparaissait comme une étape importante pour tirer des conclusions sur les indices des techniques utilisées. Les comparaisons ont été réalisées sur deux matériaux : isolant de fibre en bois et OSB. La désorption de l'isolant de fibre en bois (figure 3) obtenue par la technique DVS est un peu décalée par rapport à celles du Belsorp et VSA. Cela peut se justifier par la teneur en eau maximale obtenue par le DVS qui correspond à 84% d'humidité relative et qui est le point de départ du chemin de la désorption. Ce point est différent de celui des méthodes Belsorp et VSA (la désorption commence à 94%).

La courbe obtenue par le Belsorp s'écarte de celles obtenues par DVS et VSA dans le cas de l'OSB (figure 4). En effet, pour certains types de matériaux, les méthodes gravimétrique et volumétrique ne donnent pas toujours des résultats identiques. Notons que le changement de la structure des fibres de l'OSB et de l'isolant de fibre en bois au moment de l'adsorption n'ont pas été pris en considération. Ce paramètre peut créer une hystérésis allant de 0.1 à 2%. Donc, la détermination des isothermes est fortement dépendante de la méthode expérimentale utilisée et particulièrement de l'estimation de l'équilibre thermodynamique pour chacun des points de la courbe.

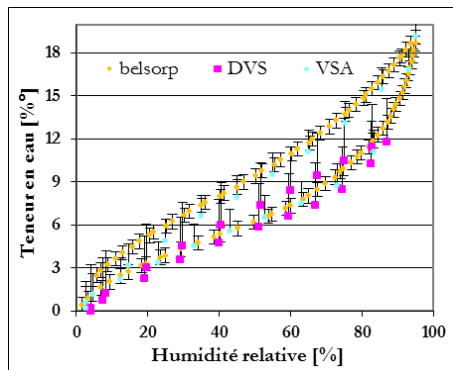


Figure 3. Comparaison des isothermes de sorption désorption de l'isolant de fibre en bois à 20°C obtenues par différentes méthodes

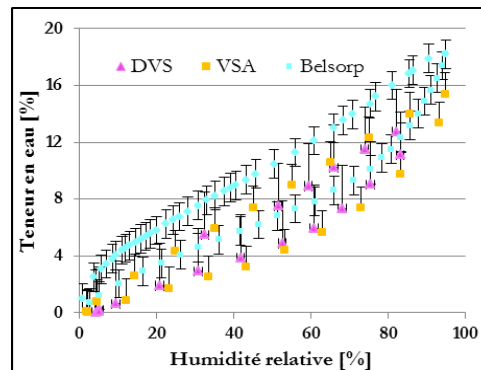


Figure 4. Comparaison des isothermes de sorption désorption de l'OSB à 20°C obtenues par différentes méthodes

3. Courbe de rétention d'eau

Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour l'élaboration de la CRE (Courbe de Rétention d'Eau) des matériaux poreux telle que la méthode de « Tempe Cell » (Godbout et al., 2004). Dans le cadre de cette étude, la méthode retenue est dite : méthode d'extraction par presse à membrane qui consiste à poser des échantillons saturés en eau dans une membrane microporeuse en cellulose dans une chambre de pression.

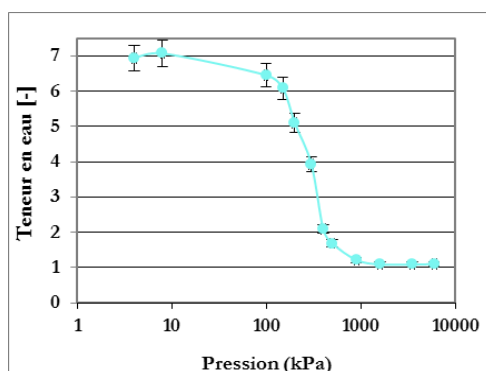


Figure 5. CRE de l'isolant de fibre en bois

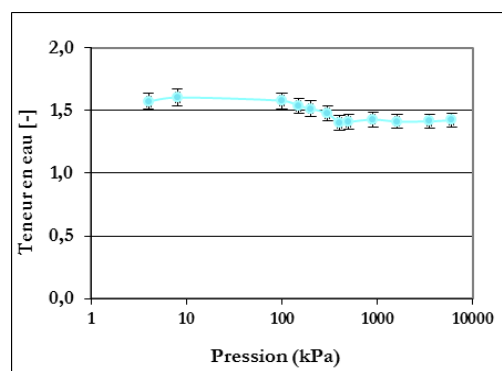


Figure 6. CRE de l'OSB

Les CRE ainsi obtenues pour les matériaux : isolant de fibre en bois et OSB sont présentées sur les figures 5 et 6, respectivement. On y constate que la teneur en eau de ces matériaux est légèrement sensible aux variations de la pression capillaire entre la plage de 0kPa et 80 kPa. Le point d'entrée d'air (le point à partir duquel le matériau n'est plus saturé et les pores les plus larges commencent à se vider) de ces matériaux est quasiment le même. Il correspond à une pression estimée à 20 kPa. Quand la succion augmente, le degré de saturation diminue légèrement, jusqu'au point où la phase liquide devient discontinue. Au-dessous de cette valeur, les pores sont complètement dessaturés. Puis, l'eau forme des ménisques aux points de contacts entre les molécules d'eau, avec des pressions interstitielles très fortes au sein des ménisques

4. Perméabilité à la vapeur

En termes d'analyse hydrique, la perméabilité à la vapeur est la propriété la plus utilisée dans le domaine de la construction. Elle donne une information sur la migration d'humidité dans les matériaux. Cette migration est généralement attribuée à un processus de diffusion de vapeur.

Le protocole adopté dans le présent travail correspond à une étude expérimentale élaborée au Denmark Technical University (DTU). Il est conforme à la norme européenne [ISO -12571, 01]. Toutes les corrections apportées à la norme [ASTM 05] sont prises en considération dans la présente méthode. Le matériau choisi pour ces tests de perméabilité est l'isolant de fibre en bois.

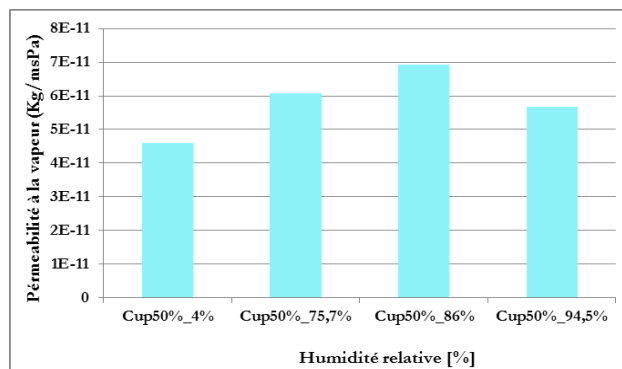


Figure 7. Perméabilités moyennes à la vapeur de l'isolant fibreux mesurées pour différents états hydriques.

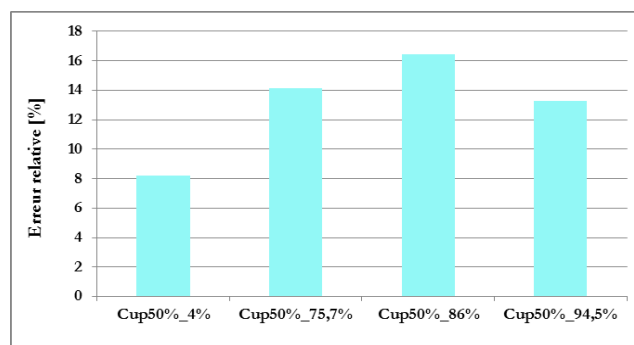


Figure 8. Erreur relative due à la non-prise en compte des corrections de résistance à la vapeur pour le calcul de perméabilité (méthode de la coupelle).

Les perméabilités moyennes correspondant à chaque écart d'humidité relative sont indiquées sur la figure 9. Il est constaté que ces valeurs augmentent avec l'augmentation de l'humidité relative moyenne dans le régime hygroscopique. Un comportement similaire est relevé dans la littérature pour d'autres matériaux [TAL 07]. Au-delà de ce régime, (coupelle 50%-94%), la perméabilité à la vapeur décroît. Ce comportement est expliqué par le fait que l'isolant de fibre en bois est fortement hygroscopique, ce qui lui confère une propriété de non-linéarité de la perméabilité à la vapeur d'eau. De plus, le processus de diffusion peut être affecté par d'autres formes de transport de phase liquide, vu que cette plage d'humidité relative (50%-94%) favorise les condensations. Ce résultat (figure 7) fournit des valeurs moyennes de perméabilité à la vapeur de l'isolant de fibre en bois pour plusieurs plages hydriques séparées.

L'erreur relative sur la perméabilité à la vapeur due à la non-correction des résistances à la vapeur est donnée en (figure 8). Elle est estimée par : $\left[(\delta_{p,corr} - \delta_p) / \delta_p \right] \times 100$. L'histogramme montre que l'erreur sur la mesure peut aller jusqu'à 17%. Cette erreur concerne particulièrement les matériaux assez perméables, ce qui est le cas de l'isolant de fibre en bois.

5. Mesure du pouvoir tampon à l'humidité (Moisture Buffer Value M.B.V)

La capacité d'un matériau à absorber ou à libérer l'humidité est parfois appelée « pouvoir tampon à l'humidité ». Elle est fonction de la perméabilité et de la capacité de sorption du matériau. Cette grandeur est utile, par exemple, lors de la conception et de la régulation d'un climat intérieur passif ou lors de l'étude de la résistance d'une construction à la condensation interstitielle. Les résultats montrés sur la figure 9 ont été obtenus suivant le protocole Nordetest [ROD 07].

Par analogie à la diffusivité thermique, le pouvoir tampon à l'humidité des matériaux peut être exprimé par la capacité d'accumulation d'humidité « moisture accumulation capacity b_m » [HAG 01] : $b_m = \sqrt{\delta_p \cdot \rho_s \cdot \xi / p_{sat}}$. Avec b_m [$\text{kg/m}^2 \text{Pa.s}^{0.5}$] est la capacité d'accumulation d'humidité, ξ [-] est la pente de l'isotherme de sorption, ρ_s [kg/m^3] est la masse volumique sèche de l'échantillon, p_{sat} [Pa] est la pression de saturation, δ_p [Kg/m.s.Pa] est la perméabilité à la vapeur. Les résultats sont indiqués sur la figure 10.

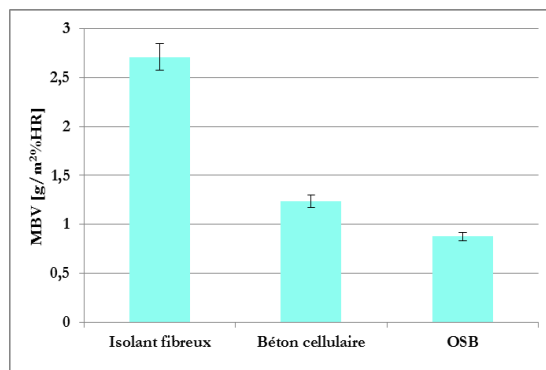


Figure 9. Pouvoir tampon d'humidité de l'isolant de fibre en bois, béton cellulaire et OSB obtenus après trois cycles d'humidification-séchage.

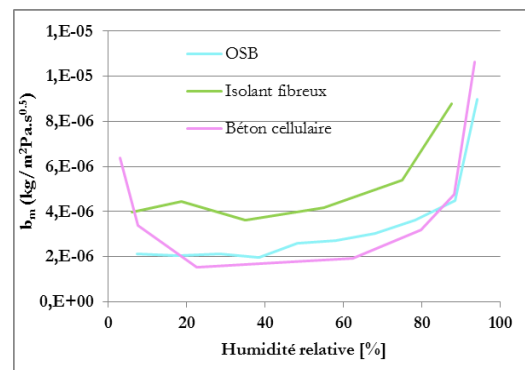


Figure 10. Capacité d'accumulation d'humidité b_m en fonction de l'humidité relative [$\text{kg/m}^2 \text{Pa.s}^{0.5}$]

Selon la classification de MBV donnée par [ROD 05], l'effet tampon des matériaux de construction peut être considéré comme très important pour la performance hygrothermique d'un habitat. Toutefois, l'isolant de fibre en bois (figure 9) est classé comme excellent vu que son pouvoir tampon est supérieur à $2 \text{ g/m}^2\% \text{HR}$. Le MBV du béton cellulaire de $1,2 \text{ g/m}^2\% \text{HR}$ permet de le classer comme un bon modérateur d'humidité relative. Cette valeur coïncide avec les résultats expérimentaux obtenus par [ROD 05]. De même l'OSB modère moyennement l'humidité relative (sa MBV moyenne est de $0.87 \text{ g/m}^2\% \text{HR}$).

6. Conclusion

Ce travail expose plusieurs approches expérimentales qui ont été mises en place pour la caractérisation macro-hydrrique des matériaux hygroscopiques biosourcés : Bois massif, isolant de fibre en bois et l'OSB.

Les isothermes de sorption/désorption de ces matériaux ont été déterminées par différentes méthodes de mesures (VSA, DVS et BELSORP) qui ont été par la suite comparés. Les comparaisons mettent en exergue un inconvénient majeur de la méthode DVS qui ne permet pas de mesurer les teneurs en eau pour des plages supérieures à 90% en hygrométrie. Cette zone de la courbe est généralement déduite par extrapolation. De plus, pour certains types de matériaux à faible masse volumique et non hygroscopiques, tels que la laine de roche, l'essai par DVS n'est pas toujours concluant : l'adsorption devient très faible et donc le poids ne varie pratiquement pas. La méthode gravimétrique reste la méthode la plus réaliste et la plus fiable vu le respect de la représentativité des échantillons. Par contre, elle a été souvent critiquée à cause de sa lenteur. En dehors de la zone hygroscopique, correspondante à des hygrométries supérieures à 95% cette méthode n'est pas applicable.

C'est pourquoi nous avons fait recours aux essais de rétention d'eau. Une couverture de pression capillaire allant de 0 Pa à 107 Pa a été réalisée pour la plupart des matériaux. Contrairement à ce qu'a été obtenu avec les isothermes de sorption-désorption, le degré d'hygroscopicité des matériaux testés lors de la rétention est différent. La teneur en eau maximale n'est pas toujours obtenue pour l'OSB. Lorsqu'il s'agit de la saturation et du transport liquide c'est l'isolant de fibre en bois qui absorbe une quantité importante d'eau que l'OSB.

Quant aux mesures de la perméabilité à la vapeur, les résultats ont montré que ce paramètre est très sensible aux variations hydriques notamment pour ces matériaux hygroscopiques à forte porosité. La capacité des matériaux à échanger l'humidité avec l'air ambiant a été traitée par deux méthodes différentes. L'observation la plus significative est que pour les deux méthodes, le même classement du comportement des matériaux est obtenu. Autrement dit, l'isolant de fibre en bois présente toujours le pouvoir tampon le plus élevé suivi du béton cellulaire puis l'OSB. Les deux méthodes d'évaluation du pouvoir tampon sont adaptées à des conditions en équilibre ; contrairement à la méthode dynamique qui a été proposée par [PEU 03].

L'ensemble des grandeurs déterminées dans ce chapitre permet d'enrichir les bases de données quant aux caractéristiques intrinsèques des matériaux. Elles sont utilisées comme paramètres d'entrées des modèles de prédiction des transferts couplés de chaleur, d'air et d'humidité...

7. Remerciements

Ces travaux ont été partie financés par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) au travers du programme Habitat intelligent et solaire photovoltaïque (projet HYGRO-BAT n° ANR-10-HABISOL-005).

8. Bibliographie

- [ASTM 005] ASTM Annual book of standards, E96 ; Standard test method for water vapour transmission of materials. Philadelphia, 2005.
- [HAG 01] HAGENTOFT C.E., Introduction to Building Physics, Studentlitteratur, Lund, Sweden, 2001.
- [ISO-12571, 01] EUROPEAN STANDARD., Hygrothermal performance of building materials and products-Determination of water vapour transmission properties, 2001.
- [ISO-12571, 00] INTERNATIONAL STANDARD, Hygrothermal performance of building materials and products-Determination of hygroscopic sorption properties, 2000.
- [PEU 03] PEUHKURI R., Moisture Dynamics in Building Envelopes. PhD. Thesis, Department of Civil Engineering. Technical University of Denmark, 2003.
- [ROD 07] RODE C., PEUHKURI R., TIME B., SVENNBERG K., OJANEN T., Moisture buffer value of building materials. *Journal of ASTM International*, vol. 04, 2007, No. 5.
- [ROD 05] RODE C., Moisture Buffering of Building Materials. Nordisk Innovations center, ISSN 1601-2917, ISBN 87-7877-195-1, 2005.
- [TRA 10] Trabelsi A., Etude numérique et expérimentale des transferts hygrothermiques dans les matériaux poreux de construction, Thèse de doctorat, Université de La Rochelle, 2010.
- [TAL 07] TALUKDAR P., OLUTMAYIN S., OSANYNTOLA O.F., SIMON C.F., An experimental data set for benchmarking 1-D, transient heat and moisture transfer models of hygroscopic building materials. Part I: Experimental facility and material property data, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 50, n° 23-24, 2007, p. 4527-4739.