Influence des conditions aux limites sur les mesures de « l'inertie hygrique » des matériaux de construction

Monika Woloszyn* — Marine May — Jerzy Kwiatkowski***

** CETHIL, UMR CNRS 5008, INSA de Lyon, UCBL,*
INSA de Lyon bât. Freyssinet,
69 621 Villeurbanne cedex

*** GEMPPM, UMR CNRS 5510, INSA de Lyon*

monika.woloszyn@insa-lyon.fr

RÉSUMÉ *Les matériaux de construction, matériaux poreux, ont la particularité de pouvoir stocker et déstocker la vapeur d'eau. Ils peuvent contribuer ainsi à stabiliser le niveau de l'humidité relative de l'air ambiant. Ainsi, ce travail porte sur la caractérisation hydrique de matériaux de construction (la brique rouge et la plaque de plâtre) en régime dynamique. Le protocole expérimental, mis en place pour ce projet, permet des mesures d'absorption - désorption de l'humidité de l'air. Ainsi les cinétiques de sorption des deux matériaux dans des conditions particulières d'humidité relative et de température peuvent être tracés. Différents paramètres influencent particulièrement l'allure de ces courbes : la quantité d'eau absorbée dépend du niveau de l'humidité de l'air et de la température ; mais de façon différente pour les deux matériaux étudiés.*

ABSTRACT. *Building materials used in contact with indoor air may have a positive effect to moderate the variations of indoor humidity. This work deals with dynamic hydric characterization of civil engineering materials: red clay brick and gypsum board. Vapour buffering effect of both materials is analysed. Our experimental protocol allows for moisture sorption measurements in dynamic conditions, for different values of ambient temperature, relative humidity, etc. Those parameters have an impact on sorption kinetics, but the impacts is material-depending.*

MOTS-CLÉS : *humidité, sorption, plaque de plâtre, brique, régime dynamique, inertie hygrique*

KEYWORDS: *moisture, sorption, gypsum board, brick, dynamic condition, moisture buffer*

1. Introduction

La chaleur et la vapeur d'eau générées par l'utilisation de bâtiment, les flux de chaleur, d'air et de la vapeur d'eau traversant l'enveloppe, ainsi que les flux injectés par le système de conditionnement d'air sont fortement couplés. Les transferts aérauliques changent la réponse thermo-hygrique de l'enveloppe. L'humidité résultante dans l'enveloppe affecte négativement les consommations d'énergie et la durabilité de l'enveloppe. Tandis que le système de régulation de conditionnement d'air corrige sans interruption la chaleur injectée pour maintenir la température intérieure au niveau de confort, il laisse en général l'humidité relative évoluer librement, car on la considère comme moins importante que la température. Les recherches ont cependant prouvées que l'humidité relative affecte le confort thermique et respiratoire, ainsi que la perception de la qualité d'air intérieur. Certains travaux ont aussi montré l'impact de l'humidité sur l'énergie consommée pour conditionner l'air (Mendonça et al. 2002, Janssens et De Paepe, 2005, Woloszyn et al. 2005).

Les matériaux hygroscopiques peuvent être très utiles pour réduire l'amplitude des variations de l'humidité relative de l'air ambiant. Ce phénomène de stockage - destockage de l'humidité dans les matériaux est souvent appelé « inertie hygrique ». Il favorise le confort intérieur par une meilleure stabilité des conditions intérieures et peut aussi contribuer à diminuer les consommations énergétiques. Or, les propriétés hygriques couramment utilisées des matériaux de construction (perméabilité à la vapeur, isothermes de sorption...) sont déterminées en régime permanent et se montrent insuffisantes pour décrire correctement les transferts d'eau (sous forme de vapeur ou de liquide) dans les conditions dynamiques réelles, comme le montrent Peuhkuri et al. 2004.

Les caractéristiques dynamiques sont essentielles pour étudier le comportement de la vapeur d'eau dans le bâtiment, et en particulier les phénomènes de migration entre l'air ambiant et les matériaux de construction. La procédure expérimentale pour déterminer ces caractéristiques a fait récemment objet de recherches, citons par exemple la procédure proposé par Rode et al. 2005. Les phénomènes dynamiques influencent fortement d'une part l'humidité relative de l'air ambiant (confort...), et d'autre part le taux d'humidité dans les parois (risque de condensation, de développement de moisissures...).

L'objectif de ce projet est d'aider à la compréhension des phénomènes d'absorption - désorption de l'humidité dans les matériaux de construction et de leur interaction hygrique avec l'air intérieur.

Pour cela, on a choisi de s'intéresser aux caractéristiques hydriques de deux matériaux en particulier : la brique et la plaque de plâtre. Cette étude porte sur la détermination des cinétiques de sorption d'humidité et l'analyse de leur dépendance de différents paramètres.

2. Essais de sorption

Nous avons choisi de nous focaliser sur la plaque de plâtre (BA13) et la brique (briques rouges pleines « de parement »), deux matériaux de construction à la microstructure et la nature chimique très différentes.

Pour les essais de sorption, on se contentera d'échantillons d'environ 100x100x13mm^3. Les plaques et les briques seront débitées en fonction, puis recouvertes sur cinq faces d'adhésif aluminium (testé préalablement pour son étanchéité à la vapeur d'eau) : seule la face exposée aux variations climatiques intérieures est étudiée.

Pour parvenir aux tracés des cinétiques de sorption, les échantillons ont été placés dans une chambre climatique afin de recréer la situation climatique d'un bâtiment en régulant l'humidité relative et la température. Au moment de prise de mesure, les échantillons sont placés hors de l'enceinte dans des sacs hermétiques afin d'être pesés sur une balance.

Dans un premier temps, les échantillons sont conditionnés dans la chambre climatique pendant une durée minimale de 24h sous 35%HR à 20°C. Ensuite, l'humidité relative (HR) est portée à 95% sous 20°C (les essais sont isothermes). Le suivi des variations de masse permet la détermination de la cinétique d'absorption. La cinétique de désorption est obtenue de la même façon en exposant les échantillons de nouveau à 35%HR. Enfin, la durée totale de l'essai dépend de la manipulation réalisée.

Désignation de l'essai	Manip 1	Manip 2	Manip 3	Manip 4	Manip 5	Manip 10
Nombre et type d'échantillons	5 - plâtre	3 - plâtre 3 - plâtre	5 - plâtre	5 - plâtre	5 - plâtre	5 - plâtre
Taille des échantillons (cm)	± 10 x 10	± 10 x 10	± 10 x 10	± 20 x 10	± 10 x 10	± 10 x 10
Position des surfaces exposées	vers le bas	vers le haut et verticale	vers le haut	vers le haut	vers le bas	vers le haut
Conditionnement de départ	24h à 35%HR	2,5jr à 35%HR	2jr à 35%HR	2,5jr à 35%HR	2,5jr à 35%HR	2jr à 35%HR
Température de l'essai	20°C	20°C	20°C	20°C	30°C	20°C
Fort taux d'humidité relative	2jr à 95%HR	24h à 95%HR	3jr à 95%HR	24h à 95%HR	24h à 95%HR	24h à 75%HR
Faible taux d'humidité relative	4jr à 35%HR	24h à 35%HR	-	24h à 35%HR	24h à 35%HR	24h à 35%HR

Tableau 1. *Détails des essais réalisés sur les plaques de plâtre*

La courbe d'absorption/désorption, tracée à partir de cinq échantillons, donne la variation de masse (en g/m²) en fonction du temps (en min). L'incertitude des mesures a été estimé à ±3.5 g/m² Le détail des différents essais est donné dans le Tableau 1 et Tableau 2. La comparaison des manipulations permet d'étudier l'impact des différentes conditions aux limites (taille de l'échantillon, température ambiante, humidité relative…) sur les cinétiques de sorption.

Désignation de l'essai	Manip 6	Manip 9	Manip 0
Nombre et type d'échantillons	5 - brique	5 - brique	5 - brique
Taille approximative des échantillons (cm)	± 10 x 10 x 1.1	± 10 x 10 x 0.8	± 10 x 10 x 1.1
Position des surfaces exposées	vers le bas	vers le bas	vers le bas
Conditionnement de départ	2,5jr à 35%HR	2jr à 35%HR	2,5jr à 35%HR
Température de l'essai	20°C	20°C	20°C
Fort taux d'humidité relative	24h à 95%HR	8h à 95%HR	24h à 95%HR
Faible taux d'humidité relative	24h à 35%HR	-	24h à 35%HR

Tableau 2. *Détails des essais réalisés sur les briques*

3. Résultats

3.1. *Cinétiques typiques*

Un exemple de courbe complète d'absoprtion/désorption, pour la plaque de plâtre (« manip 1 ») et la brique (« manipe 6 ») est présenté dans la Figure 1. On constate que dans ces conditions la brique possède une « inertie hygrique » bien plus importante que la plaque de plâtre.

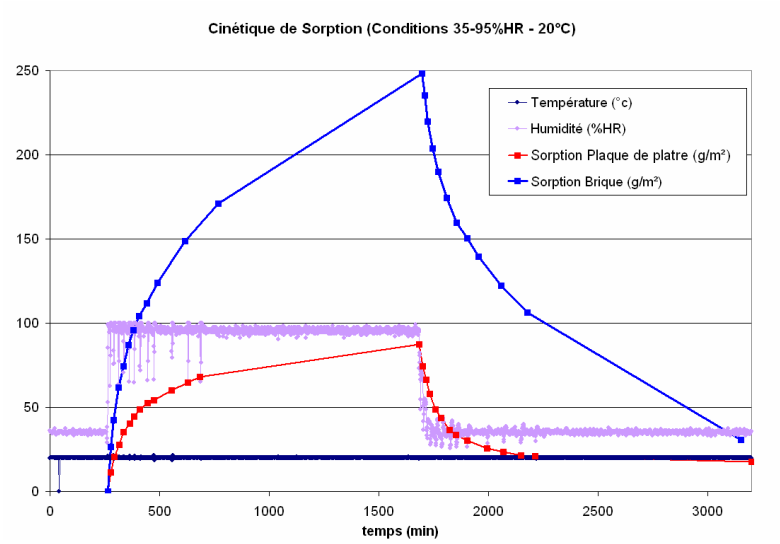


Figure 1. *Cinétiques de sorption des brique et plaque de plâtre : 35-95%HR à 20°C*

3.1. *Impact de la* forme *et position de l'échantillon*

Pour la « manip 2 », nous avons étudié 6 échantillons simultanément : 3 en position verticale, 3 en position horizontale face exposée vers le haut ; le but étant d'observer l'influence de la position de l'échantillon pour sa sorption. Les résultats de l'absorption sont présentés dans la Figure 2. L'influence du positionnement n'est pas évidente. A l'origine, les pentes sont quasiment identiques : entre 0.55 et 0.60 g/(m².min) en absorption. A l'absorption, on observe une légère différence. Celle-ci différencie les deux manipulations, on peut se demander si cette variation ne vient pas des conditions dans l'enceinte climatique qui ne sont pas exactement identiques entre les deux essais, étant donné que les cinétiques sont assez similaires. Les courbes de désorption obtenues présentent encore moins de différences. On conclue que la position de échantillon (vertical, horizontal) lors d'un essai n'a pas d'influence ; conclusion à laquelle on s'attendait, étant donné que la ventilation mécanique et permanente de la chambre climatique crée une atmosphère très homogène et assure un fort brassage de l'air. Par ailleurs on constate que la sorption d'humidité est proportionnelle à la surface exposée.

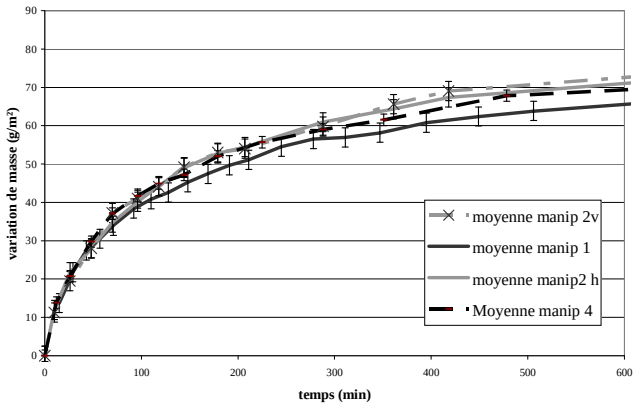


Figure 2. *Cinétiques de sorption de la plaque de plâtre : 35-95%HR à 20°C pour différentes positions de l'échantillon*

Concernant la brique, la « manip 9 » a été réalisée dans les mêmes conditions que la « manip 6 », seulement les épaisseurs des échantillons ont été modifiées ; l'épaisseur moyenne de 1.10 cm est passée à 0.80 cm. Dans le cas des plaques de plâtre, la question de l'épaisseur ne se pose pas : elle est déterminée par le fabricant. Mais pour la brique qui est un matériau homogène, on constate que l'épaisseur joue un rôle : Figure 3 montre qu'avec des échantillons plus fins ont a une absorption plus faible. Ce phénomène est lié à la « profondeur de pénétration » qui dépend de l'amplitude et de la période des sollicitations périodiques. Ceci conditionne l'épaisseur minimale des échantillons à utiliser dans les tests : dans notre cas elle est de l'ordre de 1 cm.

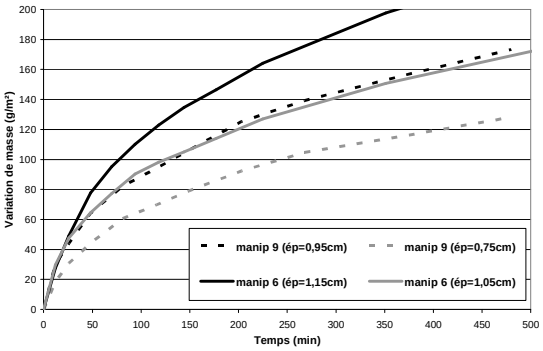
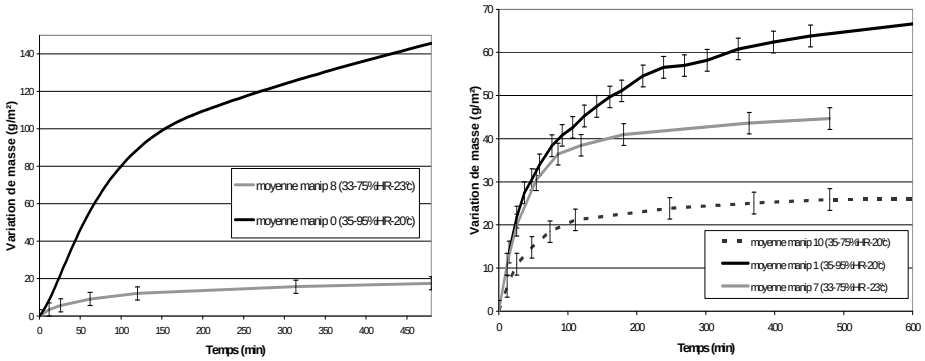


Figure 3. *Cinétiques de sorption de la brique : 35-95%HR à 20°C pour différentes épaisseurs de l'échantillon*

3.2. *Influence des conditions d'ambiance*

La dépendance des « l'inertie hygrique » de l'humidité relative et de la température ambiante est représenté sur la Figure 4. Suivant le matériau, l'influence du niveau d'HR est variable : la brique absorbe très peu l'humidité pour des niveaux d'humidité moyens, mais fortement pour des taux élevés. La différence est moins importante pour la plaque de plâtre. Ceci se justifie par leur microstructure : le réseau poreux de la brique, très fin, subit pour un fort taux d'HR une forte pression capillaire ; les pores de plus grandes tailles de la plaque de plâtre limitent ce phénomène (May et Woloszyn, 2006). Par ailleurs une hausse de température permet d'accélérer les mécanismes de sorption mais abaisse la masse de vapeur d'eau absorbée à une humidité relative fixée.



(a) (b)

Figure 4 *Cinétiques de sorption de la brique (a) et de la plaque de plâtre (b) pour différentes conditions ambiantes*

4. Conclusion et perspectives

Les caractéristiques hygriques de la brique et de la plaque de plâtre ont été réalisées en dynamique, dans une chambre climatique, afin d'observer dans le temps les mécanismes de sorption. Les variations des conditions d'essais nous ont permis d'étudier l'influence de certains paramètres sur la sorption de vapeur d'eau. A partir de nos essais, nous avons pu faire diverses observations : tout d'abord, la position de l'échantillon lors de l'essai n'a pas de véritable influence ; la sorption d'humidité est proportionnelle à la surface exposée et dépend du niveau de l'humidité de l'air. Ensuite, une hausse de température permet d'accélérer les mécanismes de sorption. Enfin, l'épaisseur d'un échantillon doit prendre en compte sa profondeur de pénétration.

Les courbes ainsi obtenues varient pour nos deux matériaux. Entre 33%-75%HR, la brique a une capacité d'absorption de l'humidité négligeable, ce qui n'est pas le cas pour la plaque de plâtre. Inversement, entre 35%-95%HR, la brique devient très performante pour réguler l'humidité, alors que les valeurs de la plaque de plâtre augmentent mais faiblement par rapport à ce premier matériau.

Les études hygriques des matériaux de construction sont à poursuivre et à compléter avec celles portant sur l'impact des revêtements (papier peint, peinture,…). Par ailleurs ces mesures expérimentales permettront l'amélioration des modèles numériques des performances thermo-hygriques des bâtiments et une meilleure utilisation des propriétés hygriques des matériaux.

5. Bibliographie

Janssens A., De Paepe M. Effect of moisture inertia models on the predicted indoor humidity in a room, In proceedings of 26th AIVC Conference; Bruxelles (Belgique), 21-23 Septembre 2005. 35-40 pp 287-294

May M. et M. Woloszyn. Dynamic moisture behaviour of building materials - links with microstructure. Séminaire de travail de l'annexe 41 de l'AIE. Kyoto (Japon), 3-5 avril 2006

Mendonça, K. C., Inard, C., Wurtz, E., Winkelmann F. C. and Allard, F. "A zonal model for predicting simultaneous heat and moisture transfer in buildings", Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Monterey, CA, USA, 2002.

Peuhkuri R., C. Rode, K.K. Hansen, Moisture buffer capacity of different insulation materials. In Proceedings og Builgings Physics IX, Clearwater, Florida, 2004.

Rode C. et al. Moisture Buffering of Building Materials. Report : BYG·DTU R-126; 2005; ISSN 1601 – 2917 (ISBN 87-7877-195-1).

Woloszyn M., J. Shen, A. Mordelet, J. Brau. Numerical simulations of energy performance of a ventilation system controlled by relative humidity. In proceedings of 26th AIVC Conference; Bruxelles (Belgique), 21-23 Septembre 2005. 295-300.