

# PERFORMANCES THERMIQUE ET HYGRIQUE D'UN BETON DE CHANVRE INTEGRANT UN MATERIAU A CHANGEMENT DE PHASE

**Arielle Melissa Omeme Ada\*<sup>1</sup>, Anh Dung Tran Le<sup>1</sup>, Hachmi Toifane<sup>2</sup>, Pierre Tittlein<sup>2</sup>, Laurent Zalewski<sup>2</sup>, Emmanuel Antczak<sup>2</sup>, Omar Douzane<sup>1</sup>, Thierry Langlet<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Laboratoire des Technologies Innovantes (LTI), Université de Picardie Jules Verne-IUT d'Amiens, Le Bailly 80025 Amiens Cedex, France*

<sup>2</sup> *Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement (LGCgE), Université de Artois- Faculté des Sciences Appliquées, Technoparc Futura, F-62400 Béthune, France*

[\\*omemeada91@yahoo.com](mailto:*omemeada91@yahoo.com)

---

RESUME. Le recours à l'utilisation de matériaux bio-sourcés (de type coproduit agricole) dans la construction permet de limiter l'utilisation des ressources fossiles et réduire la facture énergétique. Parmi les nouveaux matériaux, le béton de chanvre a fait l'objet de plusieurs recherches mettant en valeur sa capacité à réguler les variations hygrométriques ambiantes. L'objet de cet article est de présenter les performances thermiques et hygriques d'un béton de chanvre (BC) intégrant des matériaux à changement de phase (MCP) microencapsulé (appelé BC-MCP) développé dans le cadre du projet de collaboration entre deux laboratoires de recherche : LGCgE de l'université d'Artois et le LTI de l'université de Picardie Jules Verne. La mesure de la capacité tampon hygrique (Moisture Buffer Value-MBV) et un modèle numérique (Effective capacitance Model) permettant d'étudier l'influence de la valeur de la MBV sur l'humidité relative intérieure du local seront présentés. Les résultats obtenus permettent de mieux comprendre l'influence de l'ajout des MCP sur la performance hygrique du nouveau matériau développé.

MOTS-CLÉS : Béton de chanvre ; Capacité tampon hygrique (MBV) ; Matériaux à changement de phase (MCP).

---

ABSTRACT. Using biobased materials in construction allows the limitation of fossil resources use and reduce the electrical invoice. Among the new materials, hemp lime concrete has been investigated in many studies highlighting its capacity to regulate the indoor relative humidity. This article focuses on the thermal and hygric performance of a hemp lime concrete incorporating microencapsulated phase change material (named BC-MCP) which was developed thanks to the collaboration of two research laboratories: LGCgE of the University of Artois and LTI of the University of Picardie Jules Verne. The measure of the moisture buffer value and the use of an effective capacitance model allowing to study the impact of moisture buffer value on the interior relative humidity variation will be presented. The results found will allow a better comprehension of the influence of the adding phase change material on the hygrothermal performance of the developed material.

KEYWORDS: Hemp lime concrete; Moisture buffer value (MBV); Phase change material (MCP); Effective capacitance model.

---

## 1. INTRODUCTION

En France, le bâtiment consomme environ 44% de l'énergie produite et est responsable d'environ 25% des émissions de gaz à effet de serre qui affectent fortement l'environnement. L'utilisation des matériaux biosourcés, tel que le béton de chanvre qui est capable d'absorber environ 35 kg de CO<sub>2</sub> équivalent par m<sup>2</sup> de mur sur 100 ans (Bautier 2017), contrairement à d'autres qui en émettent, permet de diminuer l'impact énergétique du bâtiment et de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> pour le développement des constructions durables.

Ce projet vise à concevoir un nouveau matériau biosourcé à base de chanvre et de MCP. Bien qu'ayant une résistance mécanique et une inertie thermique faible, le béton de chanvre a une conductivité

thermique comprise entre 0.06 et 0.15 W/(m.K) (Samri 2008; Tran Le 2010) inférieure à celle des matériaux porteurs (béton normal, brique extrudée,...). Les études menées récemment montrent que le béton de chanvre est très perméable à la vapeur d'eau et a une excellente capacité de régulation hygrique (Tran Le 2010; Cerezo 2005; Collet et al. 2013).

En outre, les matériaux à changement de phase sont des matériaux capables de changer de phase en échangeant de l'énergie sous forme de chaleur avec l'environnement immédiat en fonction des températures imposées. Celui utilisé pour notre étude est de type organique paraffiné (Ahmad 2004; Borderon 2012) et constitué de microscopiques billes de cire de paraffine actives encapsulées dans une matrice de liant acrylique : Micronal DS 5001X avec un point de fusion de 26°C (Guichard 2013). Celui-ci, ajouté à la composition du béton de chanvre, permettra de renforcer ces propriétés hygrothermiques en l'aidant à absorber les surplus de chaleur pendant les pics de chaleur puis de les restituer durant les périodes de chute de température dans le bâtiment afin d'éviter les surchauffes en été (Choi et al. 2007; Zalewski et al. 2010).

Dans cet article, on présentera la conception, les propriétés thermiques et la caractérisation de la valeur de la capacité tampon hygrique d'un nouveau matériau fait de béton de chanvre intégrant un MCP pour différentes formulations. On comparera les résultats obtenus à ceux d'un béton de chanvre classique sans MCP pour évaluer l'impact de l'ajout de ce MCP sur ce dernier. La capacité tampon hygrique obtenue grâce à l'application du protocole Nordtest (Rode et al. 2005) et une simulation numérique pour analyser l'impact de la valeur MBV sur l'humidité relative intérieure seront présentées.

## 2. ETUDE EXPERIMENTALE

### 2.1. FABRICATION DES EPROUVETTES

La formulation des bétons présentés est déterminée en se basant sur les formulations du béton de chanvre utilisé dans le laboratoire LTI. Les bétons étudiés ont été fabriqués avec : le liant Tradical PF70, la chènevotte (particules de chanvre), l'eau et le matériau à changement de phase Micronal DS 5001X. Trois formulations différentes ont été réalisées : la première sans MCP, les deux autres formulations intègrent 20% et 40% de MCP par rapport à la masse totale sèche (chènevotte, liant, MCP) de la première formulation. Pour faciliter la comparaison entre les différentes formulations, on garde le rapport liant/chènevotte inchangé et on augmente légèrement le rapport eau/liant jusqu'à 1,65 pour la formulation intégrant 20 % de MCP et 1,86 pour celle intégrant 40% de MCP.

Pour la conception des échantillons, le mélange des constituants se fait à l'aide d'un malaxeur suivi d'un moulage et d'un tassage manuel avant de conserver le tout dans une salle de conservation (figure 1) aux conditions climatiques assez stables (à température moyenne de 20°C et humidité relative moyenne de 50%HR).



Figure 1 : Etapes d'élaboration du matériau.

Nous avons nommé les échantillons en fonction du pourcentage de MCP utilisé pour chaque formulation. Le tableau 1 présente les proportions de matériaux contenus dans chaque échantillon, la masse volumique à l'état frais.

	BC + 0%MCP	BC + 20%MCP	BC + 40%MCP
Chênevotte (% massique)	17.9%	15.1%	12.2%
Tradical PF70 (% massique)	33.0%	27.9%	22.6%
Eau (% massique)	49.1%	46.0%	42.2%
MCP (% massique)	0%	11%	23%
Masse volumique état frais (kg/m <sup>3</sup> )	686	781	1000
Rapport E/L	1.49	1.65	1.86

Tableau 1 : Récapitulatif des trois différentes formulations de béton de chanvre avec et sans MCP utilisées pour la fabrication des échantillons.

## 2.2. CARACTERISATION DE LA VALEUR DE CAPACITE TAMPON HYGRIQUE (MBV)

Pour la caractérisation de la capacité tampon hygrique, on se base sur le protocole de mesure du projet Nordtest (Rode et al. 2005), qui consiste à imposer les valeurs d'humidité relative (HR) suivantes aux échantillons : 33%HR pendant 16 heures et 75%HR pendant 8 heures avec une température constante (T) de 23°C comme montré sur la figure 2.

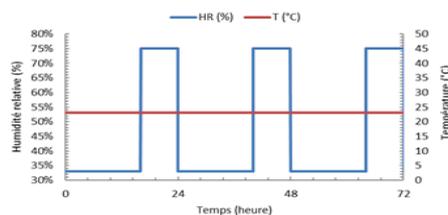


Figure 2 : Humidité relative et température imposées pour les essais de MBV selon le projet Nordtest.

Ce protocole d'essai est exécuté en trois étapes. Tout d'abord, placer les échantillons conditionnés sur les balances analytiques pour enregistrer les variations de masse en continu dans l'enceinte climatique. Ensuite, réguler les cycles d'humidité selon le protocole défini. Enfin, récupérer les données d'évolution de la masse pour le calcul de la MBV du matériau.

Pour le test de la valeur de la capacité tampon hygrique, après la période de séchage, les cinq faces des éprouvettes sont scellées à l'aide d'un ruban adhésif en aluminium (imperméable à la vapeur d'eau). Après conditionnement des éprouvettes, on a utilisé la chambre climatique Bioclimatic type CL2-25 dont la T et HR sont réglables (une plage de 8 à 95°C en température avec une précision de  $\pm 0.3^\circ\text{C}$  et une régulation d'humidité relative allant de 10 à 98% avec une précision de  $\pm 2\%$ ). Ce protocole est illustré sur la figure 3 ci-dessous :



Figure 3 : Processus d'exécution du protocole d'essai du projet Nordtest pour mesurer la valeur MBV.

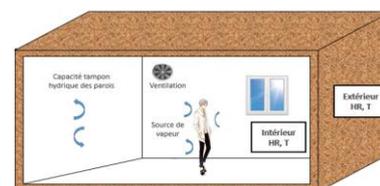


Figure 4 : Schéma représentatif du local étudié.

De plus, ce protocole de mesure prône la détermination de la MBV à l'état d'équilibre qui est atteint si, entre trois cycles consécutifs, on observe : une variation de masse ( $\Delta m$ ) inférieure à 5% entre le gain de masse en adsorption d'humidité et la perte de masse en désorption, ainsi qu'une différence inférieure à 5% entre la perte et le gain de masse au sein de chaque cycle.

Après avoir atteint l'état d'équilibre en faisant répéter les cycles et après récupération des données d'évolution de masse par l'enceinte climatique, on utilise la formule suivante pour calculer la valeur MBV (Rode, et al 2005) :

$$MBV = \frac{\Delta m}{A(HR_{\max} - HR_{\min})} \quad (1)$$

Avec :

$\Delta m$  : variation de masse de l'échantillon (kg) ;  $HR_{\min}$  et  $HR_{\max}$  : les humidités relatives minimale et maximale (%HR) respectivement ;  $A$  : surface exposée (m<sup>2</sup>).

### 2.3. MODELE DE LA CAPACITE EFFECTIVE (EFFECTIVE CAPACITANCE MODEL)

Le modèle de la capacité effective permet d'évaluer l'influence de la capacité tampon hydrique du matériau sur l'humidité relative intérieure d'un local. Ce modèle suppose que la capacité tampon hydrique de l'enveloppe est toujours en équilibre avec les conditions climatiques intérieures du local. Il est établi à partir de l'équation de conservation de masse suivante (Janssen et Roels 2009):

$$\left\{ \begin{array}{l} \left( \frac{V}{R_v T_i} + \frac{100 HIR^* V}{P_{v,sat}(T_i)} \right) \cdot \frac{\partial P_{vi}}{\partial t} = (P_{ve} - P_{vi}) \cdot \frac{nV}{3600 R_v T_i} + G_{vp} \\ HIR^* = \left( \sum_k A_k \cdot MBV_k \right) / V \end{array} \right. \quad (2)$$

Avec :

$V$  : volume du locale (m<sup>3</sup>),  $R_v$  : constante de gaz parfait = 462 J/(kg.K),  $T_i$  : température intérieure (K),  $HIR^*$  : capacité tampon hydrique normalisée par le volume (kg/ (m<sup>3</sup>. %HR)) ;  $P_{v,sat}$  : pression de vapeur saturante (Pa),  $P_{vi}$  : pression de vapeur intérieure (Pa),  $P_{ve}$  : pression de vapeur extérieure (Pa),  $n$  : taux de ventilation (1/h),  $G_{vp}$  : source de vapeur d'eau (kg/s),  $A_k$  : surface exposée de l'élément (m<sup>2</sup>),  $MBV_k$  : capacité tampon hydrique du matériau k (kg/(m<sup>2</sup>. %HR)).

Nous avons implémenté ce modèle dans un environnement de simulation SPARK (Simulation Problem Analysis and Research Kernel) orienté objet et permettant de résoudre de façon efficace des systèmes d'équations différentielles (Sowell et Haves 2001; Wurtz et al. 2006; Mendonça et al. 2002; Tran Le et al. 2010).

Pour évaluer l'influence de la valeur de la capacité tampon hydrique sur l'humidité intérieure du local, nous avons effectué des simulations en utilisant les valeurs MBV expérimentalement obtenues dans ce travail et celles d'autres matériaux utilisés couramment dans le bâtiment tels que le plâtre (MBV = 0.68g/(m<sup>2</sup>.%HR)) et le béton cellulaire (MBV = 1.5g/(m<sup>2</sup>.%HR)) (Rode et al. 2005).

Nous avons modélisé un bureau, de 15m<sup>2</sup> de surface et 45m<sup>3</sup> de volume, occupé par deux personnes pendant 10 heures (de 8h à 18h), comme montré sur la figure 4. Ces deux occupants correspondent à une production de vapeur de 142g/h. Un taux de renouvellement d'air de 0.5 1/h est considéré. Le plafond et le plancher bas sont considérés comme imperméables à la vapeur d'eau. L'humidité relative et température extérieure sont 50% et 20°C, respectivement.

## 3. RESULTATS

### 3.1. PROPRIETES THERMIQUES

Ce projet est le fruit d'une collaboration entre deux universités (UPJV et Artois) dans le cadre de l'appel à projet A2U. Les résultats obtenus sur l'étude des propriétés thermophysiques : la conductivité thermique ( $\lambda$ ), la chaleur massique ( $C_l$ =lorsque le MCP est à l'état solide ; et  $C_s$ =lorsque le MCP est à

l'état liquide) et la chaleur latente des matériaux fabriqués sont déterminées au laboratoire LGCgE de l'université d'Artois. Ces paramètres sont obtenus à partir des mesures expérimentales combinées à des techniques d'identification utilisant un modèle numérique implémenté dans le logiciel Dymola sous langage Modelica. Ils sont synthétisés dans le tableau 2 (Toifane et al. 2019).

Formulations	Masse volumique [kg/m <sup>3</sup> ]	Conductivité thermique [W/(m.K)]	Chaleur massique [J/(kg.K)]	Chaleur latente[J/kg]
BC + 0%MCP	370	0.12	1428	-
BC +20%MCP	441	0.14	Cs : 1698 Cl : 1677	28980
BC +40%MCP	596	0.18	Cs : 2048 Cl : 2019	57620
BC (Collet et al. 2013)	413	0.11	1000	-
BC (Evrard, 2008)	440	0,10	1530	-

Tableau 2 : Synthèse comparative des propriétés thermophysiques obtenues par le LGCgE d'Artois (Toifane et al. 2019).

Les résultats obtenus sur les trois échantillons montrent que l'ajout du MCP permet d'augmenter la masse volumique des échantillons et la conductivité thermique : 11.5% pour le BC+20%MCP et 45.9% pour le BC+40%MCP (Toifane et al. 2019).

De plus, l'ajout du MCP s'accompagne d'une augmentation de la chaleur massique respectivement avec MCP à l'état solide et avec MCP à l'état liquide : pour le BC+20%MCP 18.9% et 17.43% ; et pour le BC°40%MCP 43.41% et 41.38%, (Toifane et al. 2019). Cette augmentation permet au béton de chanvre une meilleure régulation des surchauffes en été.

### 3.2. CAPACITE TAMPON HYGRIQUE (MBV)

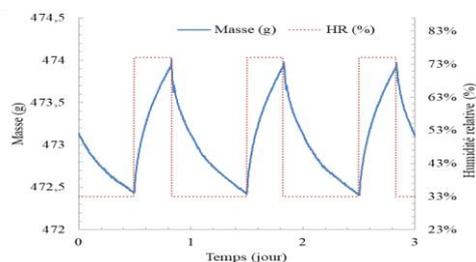


Figure 5 : Evolution de la masse du BC+0%MCP en fonction de la variation d'humidité relative de l'ambiance.

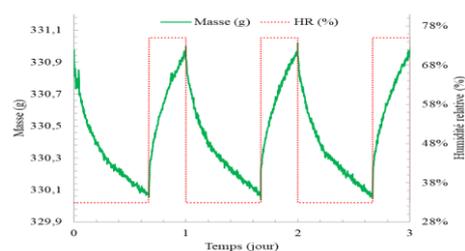


Figure 6 : Evolution de la masse du BC+20%MCP en fonction de la variation d'humidité relative de l'ambiance.

Formulations	Masse volumique [kg/m <sup>3</sup> ]	Epaisseur (m)	Surface exposée (m <sup>2</sup> )	MBV [g/(m <sup>2</sup> .%HR)]
BC + 0%MCP	370	0,07	160*10 <sup>-4</sup>	2.29
BC + 20%MCP	441	0,07	99,4*10 <sup>-4</sup>	2.25
BC + 40%MCP	596	0,07	93,84*10 <sup>-4</sup>	1.85

Tableau 3 : MBV déterminée à partir des résultats expérimentaux (application du protocole Nordtest).

On peut voir sur les figures (5 et 6) que la masse de l'échantillon augmente ou diminue progressivement en fonction de l'évolution de l'humidité relative de l'enceinte climatique. Le tableau 3 présente la masse volumique, l'épaisseur, la surface exposée, ainsi que la MBV obtenue pour chaque matériau à partir de la formule 1 du paragraphe 2.2.

On remarque que la valeur de la MBV de BC+0%MCP est cohérente avec les valeurs obtenues par les autres auteurs (Tran le 2010 ; Collet 2013 ; Rahim et al. 2015). L'ajout du MCP a permis une légère

diminution de la MBV due à l’incorporation des microcapsules de MCP dans les pores du béton de chanvre comme illustré sur la figure 7.

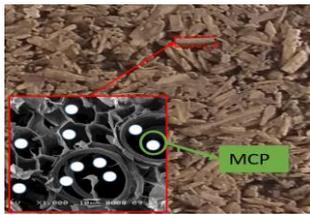


Figure 7 : Vue microscopique de l’emprisonnement des microcapsules (MCP) dans les pores de la chènevotte

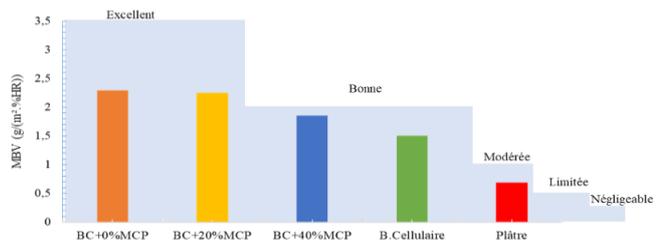


Figure 8 : La classification de MBV pratiquée par le projet Nordtest

Le projet Nordtest propose de classer les matériaux de construction en fonction de leur capacité tampon hygrique en cinq catégories : négligeable, limitée, modérée, bonne et excellente. La figure 8 présente une comparaison entre les bétons de chanvre étudiés et d’autres matériaux utilisés dans la construction. Les bétons de chanvre développés dans notre projets (BC+0% MCP ; BC+ 20%MCP) et BC+40%MCP sont classés comme excellents et bon, respectivement. Les résultats montrent que ces matériaux permettent d’atténuer significativement les variations d’humidité intérieure du local qui seront étudiés dans la partie suivante.

### 3.3. INFLUENCE DE LA MBV SUR LA PERFORMANCE HYGRIQUE

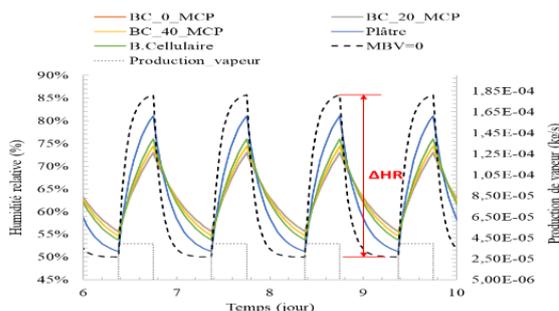


Figure 9 : Influence de la MBV des matériaux sur l’humidité relative intérieure du locale.

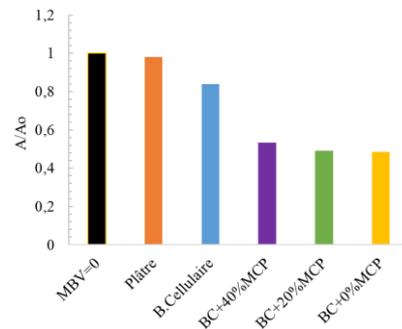


Figure 10 : Comparaison du coefficient de réduction  $A/A_0$  de différents matériaux.

Sur la figure 9, on remarque que l’évolution de l’humidité relative intérieure dépend du scénario d’occupation et que plus la valeur de la MBV est faible, plus l’amplitude de variation de l’humidité relative intérieure est grande. En effet, concernant le cas dont les parois sont imperméables à la vapeur d’eau (MBV=0), l’humidité relative intérieure varie entre la valeur minimale de 52% et maximale de 86% (dont une amplitude de 36% HR) tandis que celles maximales des BC+0%MCP et BC+40%MCP sont de 73% et 74% avec des amplitudes de 17%HR et 19%HR, respectivement. On peut conclure que l’utilisation des parois en béton de chanvre (sans ou avec MCP) permet d’atténuer la variation de l’humidité intérieure du local et d’améliorer la notion de confort.

Afin de quantifier la capacité de régulation hygrique des matériaux utilisés dans le bâtiment en comparaison au cas particulier où la capacité tampon hygrique est négligée. On définit le coefficient  $A/A_0$  comme étant le rapport entre l’amplitude de variation de l’humidité relative intérieure du local avec et sans prise en compte de la MBV des parois ( $A < A_0$ ). Sur la figure 10 on peut voir que plus le rapport  $A/A_0$  est inférieur à 1, plus le confort est de haute qualité. En raison de la capacité tampon hydrique élevée, les valeurs  $A/A_0$  sont beaucoup plus faibles pour les cas BC+0%MCP, BC+20%MCP et BC+40%MCP que pour le plâtre ou le béton cellulaire.

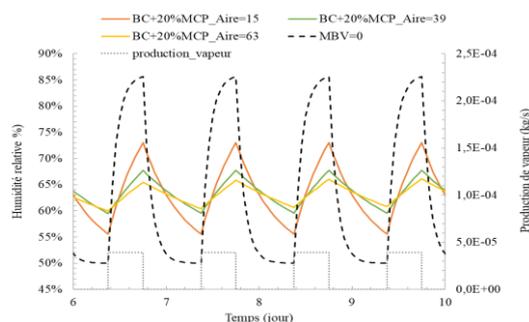


Figure 11 : Influence de la surface effective sur la variation d'humidité relative intérieure pour le BC+20%MCP.

Sachant que la surface effective des matériaux hygroscopiques utilisés joue un rôle important sur le confort hygrique, la figure 11 présente l'impact de la surface effective sur la variation de l'humidité relative intérieure pour le béton BC+20% MCP. Un bureau avec une surface effective de 15m<sup>2</sup> a une humidité relative maximale de 73% et une amplitude de variation de 17%HR comparé à l'humidité relative maximale de 66% et à l'amplitude de 5%HR pour le même bureau avec une surface effective de 69m<sup>2</sup>. L'augmentation de la surface effective permet d'atténuer la variation de l'humidité relative intérieure de 95% et d'assurer un meilleur confort hygrique.

La figure 12 compare l'amplitude de variation de l'humidité relative intérieure du bureau en fonction de la surface effective. On peut remarquer que plus on augmente la surface effective du matériau, plus l'amplitude de variation d'humidité relative à l'intérieur du locale diminue. Cependant, à l'exception du cas du plâtre, au-delà de 40 m<sup>2</sup>, l'impact de la surface effective sur l'amplitude est très faible pour les autres cas. Par conséquent, une combinaison raisonnable entre la valeur MBV et la surface effective suffisante permet d'optimiser le confort hygrique intérieur.

#### 4. CONCLUSION

Cet article présente la caractérisation thermique et la performance hygrique du béton de chanvre intégrant un matériau à changement de phase. Le résultat montre que l'ajout du MCP permet d'augmenter considérablement l'inertie thermique du béton de chanvre sans dégrader la capacité tampon hygrique du matériau. Les bétons de chanvre BC+0%MCP et BC+20%MCP présentent une excellente capacité de régulation d'humidité. Les simulations numériques montrent que l'utilisation des parois en béton de chanvre (sans ou avec MCP) permet d'atténuer considérablement la variation de l'humidité intérieure du local et d'améliorer la notion de confort.

#### REMERCIEMENTS

Nous tenon à remercier l'Université de Picardie Jules Verne et l'Université d'Artois pour le financement dans le cadre du Projet A2U (Appel à Projets conjoint Artois-UPJV-ULCO).

#### 5. BIBLIOGRAPHIE

- Bozonnet, Emma Ahmad, Maha. 2004. « Nouveaux composants actifs pour la gestion énergétique de l'enveloppe lé-gère des bâtiments. Couplage matériaux à changement de phase, super isolation, apports so-laires ». Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier – Grenoble 1.
- Bautier, Mehdi. 2017. « Peut-on faire pousser du chanvre en France? » Newsweed (blog). <https://www.newsweed.fr/on-faire-pousser-chanvre-france/>.
- Belakroum, R, A Gherfi, C Malouf, N El Wakil, T H Mai, et M Kadja. s. d. « Etudes des propriétés d'absorption hydrique et acoustique d'un nouveau matériau d'isolation bio-sourcé »,
- Borderon, Julien. 2012. « Integration of Phase Change Materials (PCM) as dynamic regulation system in thermal retrofitting ». Thèse de doctorat, Lyon : Ecole Nationale des Travaux Pu-bliques de l'Etat. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01614879>.

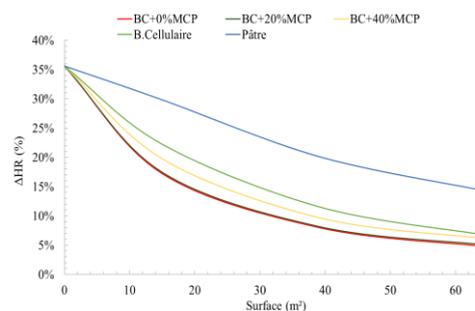


Figure 12 : Influence de la surface effective du matériau sur la variation d'humidité relative intérieure.

- Cerezo, Véronique. 2005. « Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales : approche expérimentale et modélisation théorique ». Thèse de docto-rat, Institut Nationale des Sciences Appliquées de Lyons.
- Choi, Young Cheol, Gyu Don MOON, et Jae Woo CHO. 2007. « Moisture Buffering Performance of Materials in Buildings » SB 10 Seou.
- Hachmi Toifane Pierre Tittlein, Laurent Zalewski, Emmanuel Antczak, Omar Douzane, Thierry Langlet et Anh Dung Tran Le. 2019. « Caractérisation thermophysique de béton de chanvre intégrant un matériau à changement de phase micro-encapsulé » CFQ2019/ART-020.
- Collet, Florence, Pretot Sylvie, et Lanos Christophe. 2013. « Performance hydrique de bétons de chanvre : effet de l'enduit sur leur capacité de régulateurs hydriques ».
- Guichard, Stéphane. 2013. « Contribution à l'étude des parois complexes intégrant des matériaux à changements de phase : modélisation, expérimentation, et évaluation de la performance énergétique globale ». Thèse de doctorat, Université de la Réunion.
- Mourad Rahim, Omar Douzane, Anh Dung Tran Le, Geoffrey Promis, 2015. « Characterization of flax lime and hemp lime concretes: Hygric properties and moisture buffer capacity». *Energy and Buildings* 88, 91-99, 2015.
- Rode, Carsten; Peuhkuri, Ruut Hannele; Mortensen, Lone Hedegaard; Hansen, Kurt Kielsgaard; Time, Berit; Gustavsen, Arild; Ojanen, Tuomo; Ahonen, Jarkko; Svennberg, Kaisa; Arfvidsson, Jesper. 2005. « Moisture Buffer Value of Building Materials »
- Samri, Driss. 2008. « Analyse physique et caractérisation hygrothermique des matériaux de construction : approche expérimentale et modélisation numérique ». Thèse de doctorat, Institut Nationale des Science Appliquées de Lyon.
- Tran Le, Anh Dung. 2010. « Etude des transferts hygrothermiques dans le béton de chanvre et leur application au bâtiment (sous-titre: simulation numérique et approche expérimentale) ». Thèse de doctorat, Reims : Université de Reims Champagne-Ardenne.
- Wurtz, E., Haghghat, F., Mora, L., Mendonca, K.C., Maalouf, C., Zhao, H., Bourdoukan, P. (2006). «An integrated zonal model to predict transient indoor humidity distribution». *ASHRAE Transactions* 112 (2), 175-186.
- Mendonça, K.C., Inard, C., Wurtz, E., Winkelmann, F.C., Allard, F. 2002. «A zonal model for predicting simultaneous heat and moisture transfer in buildings». *Indoor Air, 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate*.
- Sowell, E.F., and Haves, P. (2001). «Efficient solution strategies for building energy system simulation». *Energy and Buildings* 33, 309-317.
- Zalewski, Laurent, Annabelle Joulin, Stéphane Lassue, et Thierry Chartier. 2010. « Caractérisation thermophysique du comportement de matériaux à changement de phase à échelle ma-cro »SFT.
- Han Janssen and Staf Roels. 2009. «Qualitative and quantitative assessment of interior moisture buffering by enclosures». *Energy and Building*. Volume 41, issue 4, Pages 382-394.nuel. 2005. « Impact des microclimats urbains sur la demande énergétique des bâtiments - Cas de la rue canyon ». Thèse de doctorat, Université de la Rochelle,. <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00011115>.
- Dumas, Jean-Pierre, Stéphane Gibout, Laurent Zalewski, Kevyn Johannes, Edwin Franquet, Stéphane Lassue, Jean-Pierre Bedecarrats, et Pierre Tittlein. 2012. « Nécessité de l'interprétation correcte de la calorimétrie pour l'utilisation des Matériaux à Changement de Phases (MCP) ». In *SFT 2012*, 2:575-582. Bordeaux.
- Nassiopoulos, Alexandre, et Frédéric Bourquin. 2010. « Fast three-dimensional temperature reconstruction ». *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* 199 (49–52): 3169-3178. doi:10.1016/j.cma.2010.06.022.
- Peuportier, Bruno. 2003. *Eco-conception des bâtiments: bâtir en préservant l'environnement*. Sciences de la terre et de l'environnement. Paris: les Presses de l'Ecole des mines.
- Spitz, Clara, Laurent Mora, Etienne Wurtz, et Arnaud Jay. 2012. « Practical application of uncertainty analysis and sensitivity analysis on an experimental house ». *Energy and Buildings* 55: 459-470. doi:10.1016/j.enbuild.2012.08.013.
- Wetter, Michael. 2009. « Modelica-based modelling and simulation to support research and development in building energy and control systems ». *Journal of Building Performance Simulation* 2 (2): 143-161. doi:10.1080/19401490902818259.