

PERFORMANCE HYDRIQUE DE BÉTONS DE CHANVRE : EFFET DE L'ENDUIT SUR LEUR CAPACITÉ DE RÉGULATEURS HYDRIQUES

Florence COLLET, Sylvie PRETOT, Christophe LANOS

Université européenne de Bretagne, Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique, IUT Génie Civil,
3, rue du Clos Courtel - BP90422 35704 Rennes Cedex 7
florence.collet@univ-rennes1.fr
sylvie.pretot@univ-rennes1.fr
christophe.lanos@univ-rennes1.fr

1. INTRODUCTION

A l'issue du grenelle de l'environnement, l'un des objectifs est d'atteindre 10% de matériaux bio-sourcés dans le bâtiment, hors bois d'œuvre, d'ici à 2020. Le béton de chanvre peut contribuer à atteindre cet objectif : c'est un matériau composé de chènevottes et, en général, d'un liant à base de chaux. Il est utilisé pour l'enveloppe de bâtiment en tant que matériau de remplissage. Pour une même utilisation (mur), différentes formulations peuvent être rencontrées en lien avec le mode de mise en œuvre (moulé, banché, projeté). De plus, le béton de chanvre est généralement enduit côté extérieur du mur et peut, ou non, être enduit côté intérieur. Plusieurs types d'enduit sont compatibles comme les enduits chaux-sable, chaux-chanvre ou terre-sable. D'autre part, le comportement hygrothermique des enveloppes de bâtiments doit permettre de limiter les besoins énergétiques de ceux-ci tout en assurant un niveau de

confort satisfaisant. Ce comportement est lié aux caractéristiques thermiques et hydriques des matériaux mis en œuvre. Le béton de chanvre présente une conductivité thermique faible, de l'ordre de $0,1 \text{ W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}$ [ARN 2000], [PRE 2009], [AMZ 2013], compatible avec une utilisation en isolation répartie. De plus, il présente de fortes capacités de transfert et de stockage de l'humidité (perméabilité à la vapeur de l'ordre de $2,5 \cdot 10^{-11} \text{ kg.m}^{-1}\text{.s}^{-1}\text{.Pa}^{-1}$ au point sec et isothermes de sorption caractérisée par une forte hystérésis [COL 2013]). Cependant, la réalisation de ces mesures en régime permanent s'avère longue et fastidieuse. La mesure des isothermes de sorption nécessite environ un an et demi selon la méthode discontinue par paliers successifs et la mesure de perméabilité à la vapeur deux à trois mois par couple d'hygrométrie. Des études numériques ont montré que le comportement hydrique du béton de chanvre en régime transitoire permet de réduire les besoins énergétiques de bâtiments tout en

maintenant l'hygrométrie intérieure [TRA 2010][EVR 2010]. Cependant, Roels et al. [ROE 2010] ont montré que l'utilisation des données de sorption et de perméabilité à la vapeur ne permet pas une modélisation précise du tampon hydrique. Une caractérisation de la capacité de transfert et de stockage de l'humidité de ce matériau en régime transitoire s'avère donc opportune.

Afin de bien comprendre le rôle de ce matériau sur l'ambiance intérieure et donc sur le confort ressenti par les usagers dans des conditions réalistes d'utilisation, cette étude s'intéresse à la qualité de régulateur hydrique du béton de chanvre et à l'impact de l'enduit sur cette qualité. Nous focalisons sur l'échange hydrique à l'interface intérieure du bâtiment en sélectionnant des enduits représentatifs d'enduits artisanaux intérieurs. La valeur tampon hydrique est mesurée via des essais réalisés en régime dynamique sur des échantillons issus de blocs de béton de chanvre préfabriqués par moulage puis sur les mêmes échantillons enduits. Deux types d'enduits sont considérés : un enduit chaux-sable et un enduit chaux-chanvre.

2. MÉTHODE ET MATÉRIAUX

2.1. Méthode de caractérisation

La valeur tampon hydrique caractérise la capacité d'un matériau, ou d'un composant multi-couches, à modérer les variations d'humidité relative de l'air avoisinant. La définition de la valeur tampon hydrique d'un matériau (Moisture Buffer Value : MBV), ainsi qu'un protocole d'essai associé ont été proposés à l'issue du NORDTEST project [ROD 2005]. Ainsi, la valeur tampon hydrique est définie par :

$$MBV = \frac{\Delta m}{A.(HR_{haute} - HR_{basse})}$$
 [1]

Δm : variation de masse au cours de la phase d'absorption / de désorption (g)

A : Surface d'échange (m^2)

HR_{haute} / HR_{basse} : humidités relatives haute et basse au cours du cycle (%)

Le principe du protocole d'essai associé est de soumettre les échantillons à des cycles d'humidités relatives journaliers afin d'être représentatifs des cycles rencontrés dans les bâtiments. Plusieurs couples d'humidité relative peuvent être considérés, le couple de référence étant 75 % HR /33 % HR avec une durée d'exposition de 8 heures en absorption et de 16 heures en désorption. Le suivi massique des échantillons permet alors de déterminer la valeur tampon hydrique des matériaux. Ce protocole a été testé lors d'un round robin test impliquant plusieurs laboratoires européens, sur différents matériaux de génie civil : béton, briques, béton cellulaire, plâtre, bois... Une classification des matériaux a alors été proposée (figure 1).

Le banc d'essai utilisé est constitué d'une armoire climatique Vötsch VC4060 au sein de laquelle la température peut être régulée entre 10 et 95 °C et l'humidité relative

MBV [g/(m².%RH)] @8/16h

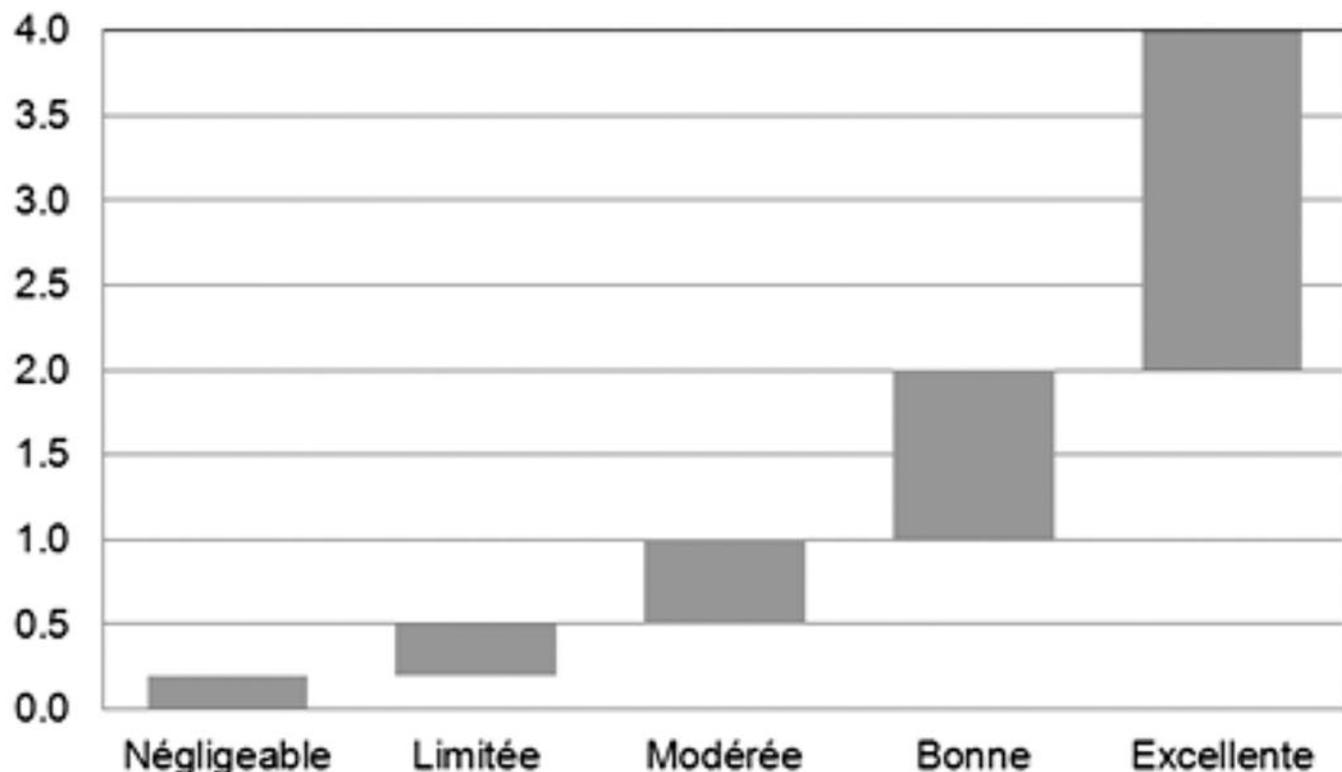


Figure 1. Classification des valeurs tampon hydrique (MBV) selon le Nordtest Project.

entre 10 et 98%. Les essais sont réalisés à 23°C. La consigne est changée manuellement au cours de l'essai selon le schéma 8/16 heures à 75/33 % HR. L'ambiance est enregistrée en continu avec des sondes sensirion SHT 75. La vitesse d'air est mesurée au voisinage des échantillons : les composantes verticales sont de 0,07 à 0,14 m/s alors que les composantes horizontales sont de 0,1 à 0,4 m/s. Les échantillons sont préalablement stabilisés à 23°C, 50%. Le suivi massique des échantillons s'appuie sur 5 pesées durant les phases d'absorption et 8 pesées durant les phases de désorption. Les cycles sont répétés jusqu'à ce que l'écart entre les variations de masse mesurées pour les cycles soit inférieur à 5% sur les trois derniers cycles.

2.2. Matériaux et échantillons

L'étude est réalisée dans un premier temps sur du béton de chanvre moulé puis sur le même béton de chanvre enduit. Le béton de chanvre est réalisé par moulage de blocs préfabriqués selon un process industriel. Sa composition est de 415 kg de chaux vive, 158 kg de chaux hydraulique et 3400 l de chanvre. Un mélangeur bi-vis contrarotatives assure le malaxage de la pâte de chaux préalablement préparée avec les chènevottes. Le remplissage des moules est amélioré par l'utilisation d'une table vibrante. Une fois démoulés, les blocs sont séchés à l'air libre. Pour cette étude, des blocs de 30*30*16 cm³ ont été réalisés selon le process de l'industriel partenaire. Le séchage des blocs, réalisé dans une ambiance contrôlée à 23°C et 50%, a été suivi par pesées. Des échantillons représentatifs de ces blocs ont alors été extraits pour effectuer les mesures de valeur tampon hydrique. Six échantillons sont testés. La surface d'échange de chaque échantillon est de 15×15 cm² conduisant à une surface totale d'essai supérieure à celle préconisée dans le Nordtest project (300 cm²). L'épaisseur des échantillons est de 7 à 8 cm afin d'être supérieure à la profondeur de pénétration estimée. La masse volumique moyenne des échantillons à 23°C, 50%HR est de 478 kg.m⁻³.

Après détermination de la valeur tampon hydrique du béton de chanvre, les échantillons sont enduits avec des enduits compatibles avec le béton de chanvre. Trois échantillons sont réalisés avec un enduit sable-chaux (Tradical 80M), les trois autres avec un enduit chanvre-chaux (Tradical 80M - Chanvribat). L'enduit sable-chaux présente un ratio massique sable/chaux de 1,17 et un ratio eau/chaux de 0,10. L'enduit chanvre-chaux présente un ratio massique chanvre/chaux de 0,11 et un ratio eau/chaux de 0,51. L'enduit est préparé au malaxeur. Les échantillons de béton de chanvre sont humidifiés afin d'assurer une bonne accroche de l'enduit. Celui-ci est ensuite appliqué à l'aide d'une taloche et d'un dispositif permettant d'assurer une épaisseur constante (1 cm) (figure 2). Les échantillons enduits sont stabilisés à 23°C, 50%HR avant de réaliser la mesure de la valeur MBV.

3. RÉSULTATS

3.1. Maîtrise de l'ambiance

Au cours de l'essai, la valeur moyenne d'humidité relative est légèrement inférieure à 75 % durant les phases d'absorption (environ 71,6 % pour le béton de chanvre nu et 72,6 % pour le béton de chanvre enduit) et légèrement supérieure à 33 % durant les phases de désorption (respectivement 33,7% et 34,7 %). Ceci est dû à l'ouverture régulière de la porte lors des pesées. D'autre part, lors des changements de consignes, e passage de 33 à 75% s'effectue en environ trente minutes, alors qu'il faut presque une heure pour passer de 75 à 33%. Selon la méthode du Nordtest project, le changement de consigne devrait idéalement s'opérer en moins de trente minutes, néanmoins Roels et Janssen [ROE 2005] ont montré que la durée de montée/descente en humidité relative avait un effet limité sur la valeur de capacité tampon hydrique (inférieur à 5%) même lorsque cette durée atteignait une heure et demie.



Figure 2. Mise en œuvre des enduits.

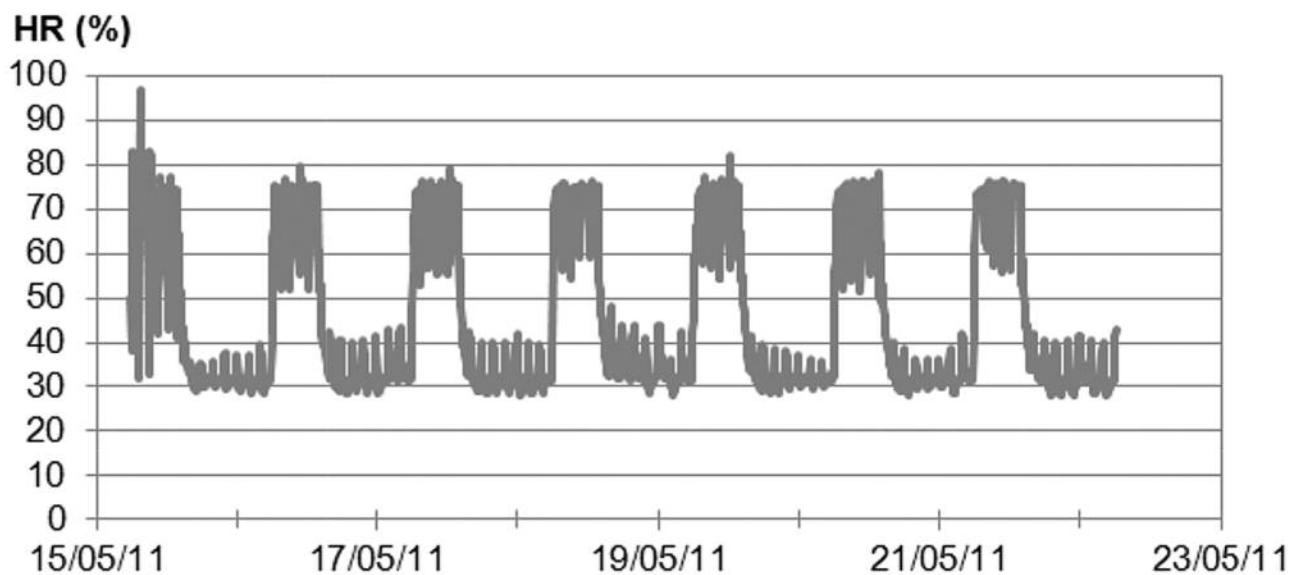


Figure 3. Ambiance lors de l'essai sur béton de chanvre seul.

3.2. Valeur tampon hydrique du béton de chanvre

Les échantillons de béton de chanvre étudiés, initialement stabilisés à 23°C 50% RH, sont d'abord soumis à une phase d'absorption. L'écart entre les variations de masse au cours des cycles devient inférieur à 5% entre les cycles 2 et 3 (Figure 4). Il n'apparaît pas de différence notable entre le comportement des différents échantillons. Pour chaque échantillon, la valeur tampon hydrique est calculée en absorption, en désorption et en moyenne au cours des cycles (Figure 5).

Les valeurs de MBV obtenues en désorption sont systématiquement légèrement supérieures à celles obtenues en

absorption (figure 5, tableau 1) et se traduisent en pratique par une tendance décroissante de la courbe de prise/perte de masse avant stabilisation (Figure 4). À terme, les prises et pertes de masse sont identiques au cours de cycles successifs et se traduisent par des valeurs de MBV identiques en adsorption et en désorption convergeant vers la valeur moyenne obtenue lors des cycles stables.

Pour chaque échantillon, la valeur tampon hydrique moyenne (MBV) est obtenue à partir des valeurs issues de l'ensemble des cycles stables (tableau 1). Les résultats obtenus pour les différents échantillons ne présentent pas d'écart significatif à l'exception de l'échantillon 49.8 qui révèle des performances un peu moindres que les autres échantillons. Extrait du même bloc que l'échantillon 49.7,

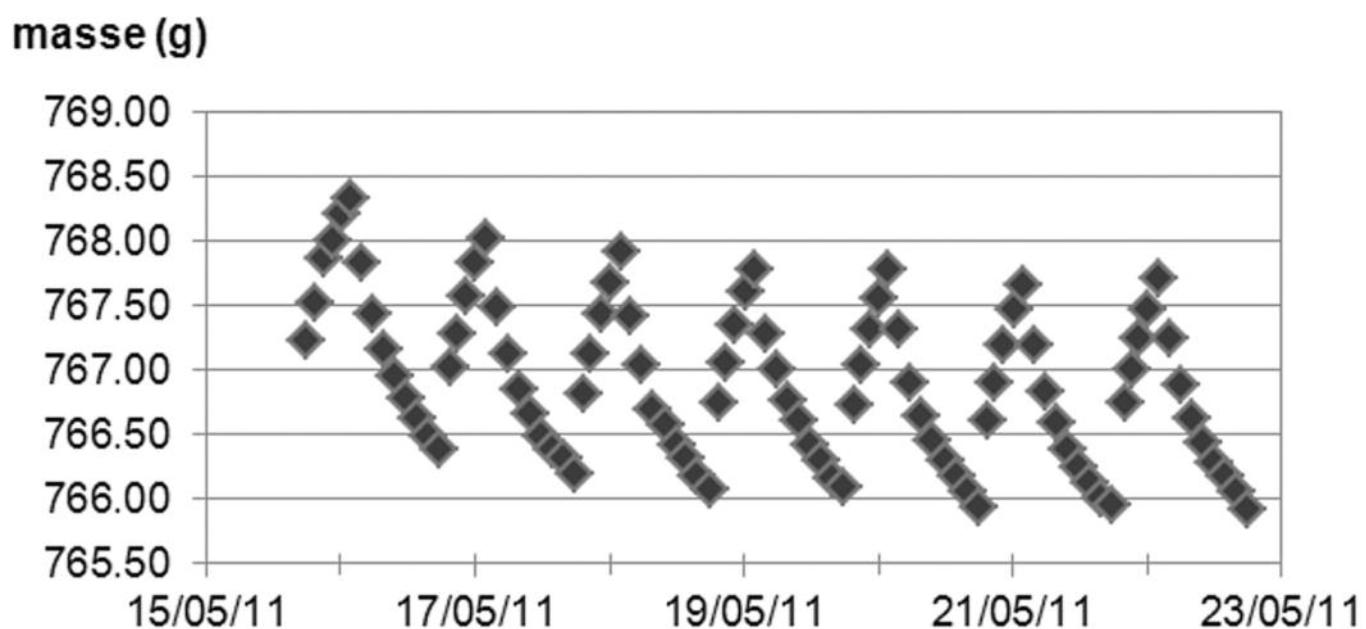


Figure 4. Cinétique de prise/perte de masse d'un échantillon de béton de chanvre (EASY-R 47.8)

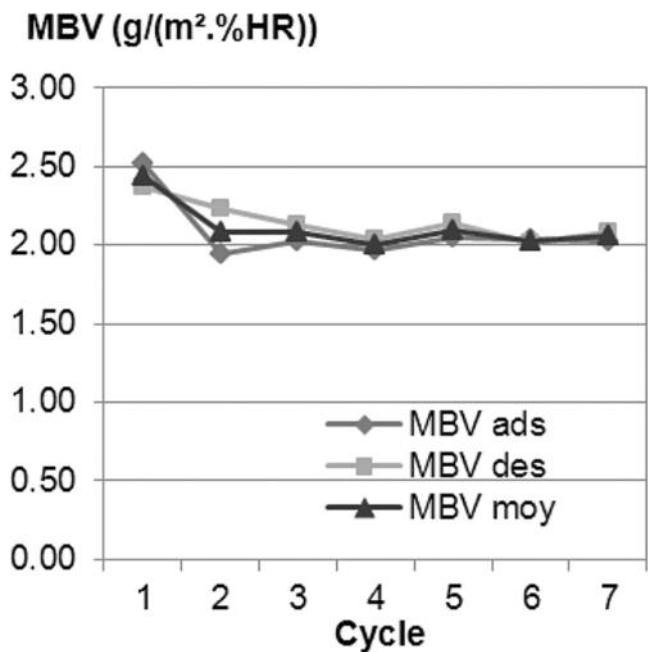


Figure 5. Evolution des valeurs tampon hydrique MBV au cours des cycles (EASY-R 47.8)

de masse volumique comparable à l'échantillon 47.8 (473 kg/m^3), sa porosité ouverte en surface semble inférieure à celle des autres échantillons (figure 6).

Finalement, une valeur moyenne de MBV est obtenue pour l'ensemble des échantillons (tableau 1). Ainsi, pour le béton de chanvre moulé, le MBV déterminé dans cette étude est de $1.94 \text{ g/m}^2/\%RH$ à $8/16\text{h }33/75\% \text{ RH}$ ce qui le place dans la catégorie des bons, presque excellent, régulateurs hydriques selon la classification du Nordtest Project (figure 1). Cette valeur est légèrement inférieure à celle obtenue pour du béton de chanvre projeté ayant une composition différente ($2,15 \text{ g/(m}^2.\%\text{HR)}$) [COL 2012]. Par comparaison avec les valeurs de MBV données dans le Nordtest project, le béton de chanvre est meilleur régulateur hydrique que le béton cellulaire ($\text{MBV} = 1,04 \text{ g/(m}^2.\%\text{HR)}$), le plâtre ($\text{MBV} = 0,64 \text{ g/(m}^2.\%\text{HR)}$) ou le béton ($\text{MBV} = 0,38 \text{ g/(m}^2.\%\text{HR)}$).

3.3. Valeur tampon hydrique du béton de chanvre enduit

Les échantillons de béton de chanvre enduits, initialement stabilisés à $23^\circ\text{C }50\% \text{ RH}$, sont d'abord soumis à une phase d'absorption. L'écart entre les variations de masse au cours des cycles devient inférieur à 5% entre les cycles 3 et 4. Pour chaque échantillon, la valeur tampon hydrique est calculée en absorption, en désorption au cours des cycles et la valeur moyenne est présentée dans le tableau 2.

Echantillon	47.1	47.6	47.7	47.8	49.7	49.8	Moyenne	Ecart type
MBV _{moy ads}	1.89	1.84	1.99	2.01	1.91	1.72	1.89	0.10
MBV _{moy des}	2.00	1.94	2.09	2.11	2.02	1.81	2.00	0.10
MBV _{moy}	1.95	1.89	2.04	2.06	1.96	1.77	1.94	0.10

Tableau 1. Valeur tampon hydrique moyenne sur les cycles 2 à 7 du béton de chanvre non enduit

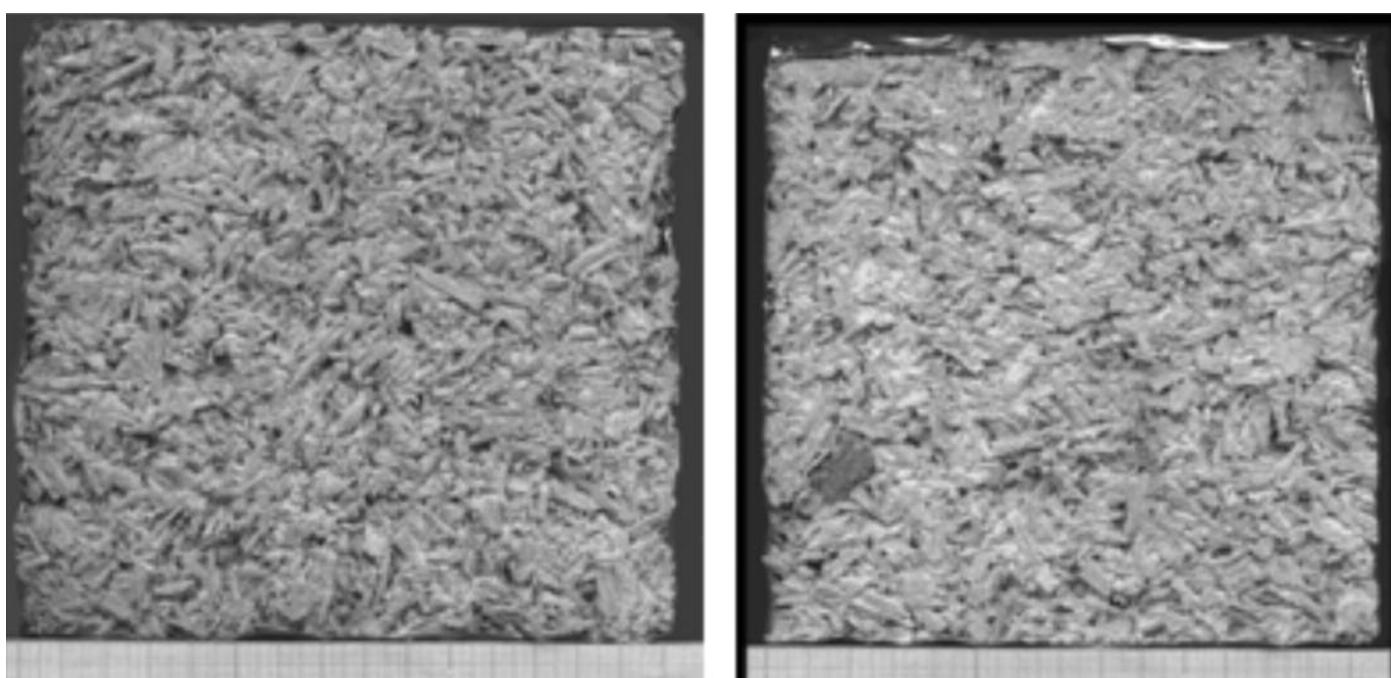


Figure 6. Etat de surface des échantillons EASY-R 47.8 (gauche) et 49.8 (droite)

Echantillon	47.1	47.6	47.7	Moy.	Ec. Type	47.8	49.7	49.8	Moy.	Ec. Type
Enduit	Sable-chaux					Chanvre-chaux				
MBV _{moy}	1.01	0.98	1.02	1	0.02	1.76	1.88	1.74	1.79	0.08

Tableau 2. Valeur tampon hydrique moyenne sur les cycles 3 à 7 du béton de chanvre avec enduit

Les valeurs MBV mesurées avec enduit présentent une très bonne homogénéité entre les différents échantillons ayant le même enduit. De façon générale, le béton de chanvre enduit présente une valeur MBV inférieure à celle du béton de chanvre seul.

L'enduit sable-chaux réduit fortement cette valeur : avec 1 cm d'enduit, la valeur MBV est de 1 g/m².%HR, soit 49 % inférieure à celle du béton de chanvre nu. Dans ce cas, la valeur MBV du béton de chanvre enduit est classée à la limite entre les catégories « modérée » et « bonne » selon la classification du Nordtest project.

L'effet de l'enduit chanvre-chaux est moins marqué : avec 1 cm d'enduit, la valeur MBV est de 1,79 g/m².%HR, soit 8 % inférieure à celle du béton de chanvre nu. Dans ce cas, la valeur MBV du béton de chanvre enduit est classée « bonne » selon la classification du Nordtest project.

Fort logiquement, plus l'enduit présente une porosité fermée, plus son effet sur la réduction de la valeur MBV est marqué.

3.4. Synthèse

La figure 7 présente les valeurs MBV de matériaux usuels et du béton de chanvre nu et enduit. Le béton de chanvre est largement meilleur régulateur hydrique que les matériaux usuels. Une fois couvert avec un enduit chanvre-

chaux, il reste bon régulateur hydrique. Une fois couvert avec un enduit sable-chaux, les performances restent comparables à celle d'un béton cellulaire et supérieures à celles d'un plâtre ou du béton.

4. CONCLUSION

La valeur tampon hydrique mesurée sur le béton de chanvre moulé, selon la méthode du Nordtest project, montre que ce matériau est un très bon régulateur hydrique. Cette caractéristique est plus ou moins réduite selon le type d'enduit utilisé. Pour un enduit fermé de type sable-chaux d'un centimètre d'épaisseur, la valeur tampon hydrique est divisée par deux. Pour un enduit plus ouvert de type chanvre-chaux, cette valeur est moins affectée. On observe alors une réduction de 8% seulement. Le choix de la nature de l'enduit et son épaisseur peuvent donc rapidement constituer des facteurs clés influençant la capacité hydrique d'une paroi et conditionnant directement le confort ressenti par l'utilisateur.

Pour caractériser le comportement hydrique des matériaux et des composants multi-couches en régime dynamique, la méthode MBV s'avère très pertinente. En outre, les cinétiques mesurées peuvent permettre de valider des modèles numériques prenant en compte les spécificités de comportement thermo hydrique du béton de chanvre.

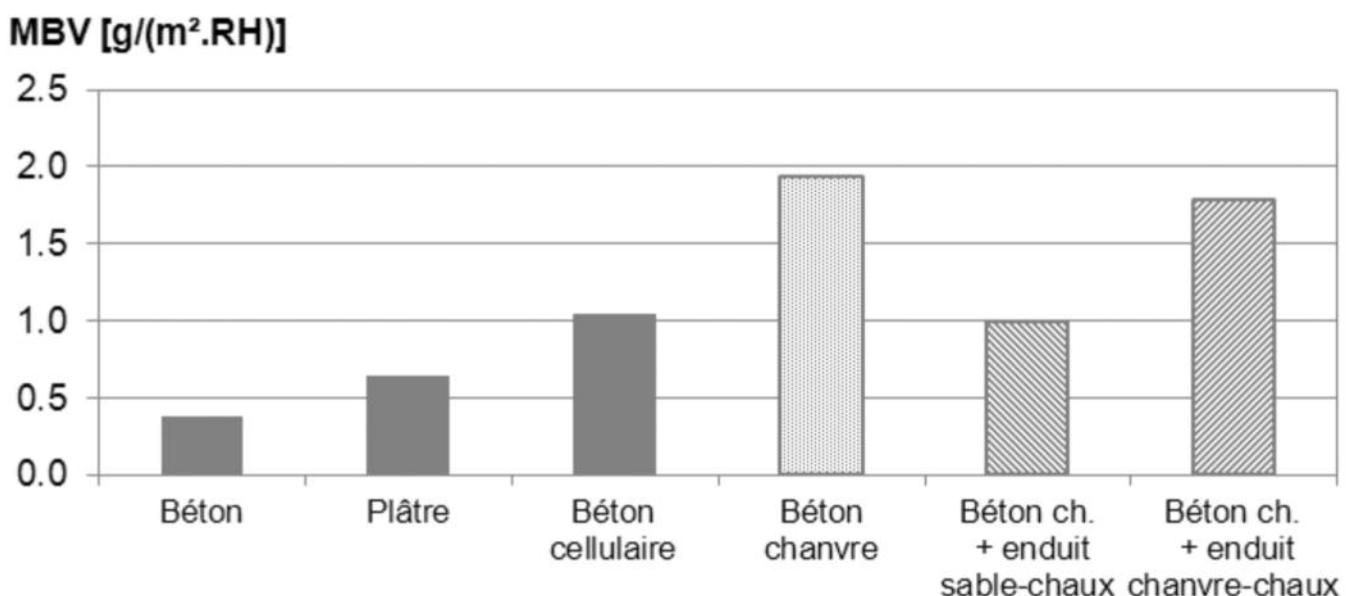


Figure 7. Valeur tampon hydrique (MBV) de matériaux usuels et du béton de chanvre moulé nu et enduit.

5. BIBLIOGRAPHIE

- [AMZ 2013] Coordonateurs de l'ouvrage : Sofiane AMZIANE et Laurent ARNAUD, *Bio-aggregate-based Building Materials: Applications to Hemp Concretes*, ISTE Ltd and John Wiley & Sons Inc, ISBN: 9781848214040, 2013.
- [ARN 2000] ARNAUD L., Mechanical and thermal properties of hemp mortars and wools: experimental and theoretical approaches, *3 Symp Int of bioresource hemp*, 2000.
- [COL 2012] COLLET F.(*), PRETOT S., Experimental investigation of moisture buffering capacity of sprayed hemp concrete., *Construction and Building Materials*, 36, pp 58-65, 2012.
- [COL 2013] COLLET F.(*), CHAMOIN J., PRETOT S., LANOS C., Comparison of the hygric behaviour of three hemp concretes, *Energy and Buildings*, 62, pp 294-303, 2013.
- [EVR 2010] EVRARD A. and DE HERDE A., Hygrothermal performance of lime-hemp wall assemblies, *Journal of building physics*, July 2010 vol. 34 no. 1 5-25.
- [PRE 2009] PRETOT S., COLLET F., GLOUANNEC P., LANG V., Variation des propriétés thermiques de bétons de chanvre en fonction de la formulation, Congrès français de thermique-Efficacité énergétique, Vannes 2009, Tome 2, pp 865-870, Editions Société Française de Thermique, ISBN : 2-905267-67-2
- [ROD 2005] RODE C., Moisture buffering of Building Materials, Report BYG•DTU R-126, ISSN 1601 – 2917, ISBN 87-7877-195, 2005.
- [ROE 2005] ROELS S. and JANSSEN H., Is the moisture buffer value a reliable material property to characterize the hygric buffering capacities of building materials? *Working paper A41-T2-B-05-7 for IEA Annex 41 project, Whole Building Heat, Air and Moisture Response*, Trondheim, 2005.
- [ROE 2010] ROELS S., TALUKDAR P., JAMES C., SIMONSON C.J., Reliability of material data measurements for hygroscopic buffering, *International journal of Heat and Mass Transfer*, 53, 5355-5363, 2010.
- [TRA 2010] TRAN LE A.D., MAALOUF C., MAI T.H., WURTZ E., COLLET F., Transient hygrothermal behavior of a hemp concrete building envelope, *Energy and buildings*, 42, pp 1797-1806, 2010.