Propriétés physiques de bétons de chanvre

**P. Glouannec¹, F. Collet², C. Lanos², P. Mounanga³, T. Pierre¹,
P. Poullain³, S. Pretot², J. Chamoin² et A. Zaknoute¹**

¹ LIMATB, Université de Bretagne-Sud, UEB, rue de Saint-Maudé, BP 92116, 56321 Lorient Cedex, France

e-mail : patrick.glouannec@univ-ubs.fr

² LGCGM – Équipe Matériaux Thermo Rhéologie, 3 rue du Clos Courtel, 35704 Rennes Cedex 7, France

³ GeM UMR CNRS 6183 – IUT de Saint-Nazaire, 58 rue Michel Ange, BP 420, 44606 Saint-Nazaire Cedex, France

Résumé – Le béton de chanvre est un biomatériau composite léger obtenu en mélangeant un liant à base de chaux hydraulique et aérienne, des particules végétales et de l'eau. Ce matériau n'est pas porteur ce qui conduit à l'utiliser principalement en matériau de remplissage associé à une ossature bois, trois procédés de mise en œuvre étant possible. Dans cette étude, différentes formulations utilisées pour le montage de paroi sont étudiées. La mise en œuvre est faite par trois procédés. Une relation de type loi-puissance est mise en évidence entre la résistance à la compression et la densité apparente. Des mesures de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique et de la teneur en eau permettent de définir la capacité d'isolation des matériaux. La caractérisation hydrique qui repose sur les capacités de stockage et de transfert d'humidité des matériaux est réalisée par la détermination des isothermes de sorption-désorption et de la perméabilité à la vapeur.

Mots-clés : Formulation ; résistance en compression ; conductivité thermique ; perméabilité hydrique ; isothermes sorption-désorption

Abstract – Physical properties of Hempcrete. Hempcrete is a lightweight composite bio-material obtained by mixing lime, hemp fibres and water. Used in building construction, hempcrete is not used as load-bearing wall but mainly as filling material associated to a wooden structure. Several hempcrete formulations have been tested and three processes of hempcrete fabrication are also studied here. Power-law relation appears considering the compressive strength versus the effective density. Thermal conductivity measurements as functions of the density and the water content allow the determination of the material insulation capacity. Lying on material storage capacity and humidity transfer, hydric characterization is realized thanks to the estimation of the isothermal sorption-desorption curves and of the water vapor permeability.

Key words: Formulation; compressive strength; water vapor permeability; thermal conductivity; isothermal sorption-desorption curves

1 Un des enjeux environnementaux et
2 écologiques dans le domaine du bâ-
3 timent est la réduction significative
4 des consommations d'énergie et l'utilisation
5 de matériaux à faible énergie grise [1]. On
6 voit ainsi se développer l'utilisation de ma-
7 tériaux bio-sourcés pour lesquels il est né-
8 cessaire d'atteindre des niveaux requis en
9 termes de performances vis-à-vis des pro-
10 priétés thermiques et mécaniques.

11 Le béton de chanvre est obtenu en mélan-
12 geant un liant à base de chaux avec des par-
13 ticules de chanvre. Appliqué au domaine de
14 la construction, ce matériau est utilisé depuis
15 plusieurs années comme matériau de rem-
16 plissage. Associé à une ossature bois pour

les différentes parois des bâtiments (murs, 17
toiture, plancher. . .), il permet de constituer 18
une enveloppe à isolation répartie. 19

Depuis quelques années, différents tra- 20
vaux ont été menés pour connaître les pro- 21
priétés acoustique, mécanique, thermique et 22
hydrique du béton de chanvre [2–7]. Ces 23
études sont primordiales pour la mise en 24
place d'une certification. Mais, il s'avère 25
que les résultats présentés dans la littérature 26
peuvent varier d'une façon importante [8] 27
et ne sont pas forcément représentatifs du 28
matériau en usage. Les mises en œuvre dif- 29
férent et l'hétérogénéité du matériau induit 30
des difficultés pour la détermination de ces 31
propriétés. 32

L'objet de cet article est de présenter une partie des résultats obtenus dans le cadre du projet ANR/Matériaux & Procédés « BETONCHANVRE » pour répondre à cette problématique.

Dans la première partie de l'article les méthodes de mise en œuvre et de caractérisation exploitées sont décrites. La seconde partie est consacrée à la présentation des résultats.

1 Formulations et mise en œuvre des éprouvettes

La fabrication des éprouvettes a été réalisée par des moyens de type industriel par les trois entreprises partenaires du projet (SI2C, Easy chanvre et Terrachanvre). Trois matériaux dont la composition et le mode de mise en œuvre sont différents ont été étudiés (Tab. 1). Les bétons de chanvre de Types A et C sont fabriqués avec du Tradical® PF70. Il s'agit d'un liant à base de chaux aérienne (75 %), de liants hydrauliques (15 %) et de pouzzolane (10 %). Pour le béton de chanvre de Type B, le liant utilisé est une préparation propre à la société. Il s'agit d'un mélange de lait de chaux et de chaux hydraulique. En ce qui concerne les granulats, les matériaux A et B sont à base de chènevotte, tandis que les bétons C contiennent un chanvre fibré (mélange de chènevotte et de fibre).

Pour le matériau A, la mise en œuvre est réalisée par projection. Le mélange « liant-chènevotte » est brassé à sec, l'eau est ajoutée uniquement en bout de la lance de projection (Fig. 1). Le matériau B est mis en œuvre selon un procédé industriel : la pâte de chaux et le chanvre sont mélangés dans un mélangeur à bi-vis contrarotatives. Le mélange obtenu est ensuite acheminé vers les moules, remplis sous vibration. Pour le matériau C, le « mélange-malaxage » est effectué dans une bétonnière et le produit est ensuite légèrement compacté dans les moules.

Les échantillons, fabriqués par les trois entreprises partenaires du projet, se présentent sous la forme de blocs parallélépipédiques de $30 \times 30 \times 16 \text{ cm}^3$. Après fabrication, les blocs sont conditionnés en chambre climatique maintenue à $22 \pm 1 \text{ °C}$ et 50 % HR (Humidité Relative).

2 Méthodes de mesure et dispositifs de caractérisation

2.1 Porosité

La porosité ouverte accessible à l'eau a été déterminée sur des éprouvettes cylindriques de 10 cm de diamètre et de 5 cm de hauteur carottées dans des blocs de béton de chanvre matures. La porosité ouverte n du béton de chanvre est estimée à partir de l'équation suivante :

$$n = \frac{(M_{\text{saturée}} - M_{\text{sèche}})}{(M_{\text{saturée}} - M_{\text{immergée}})} \quad (1)$$

où $M_{\text{saturée}}$ est la masse de l'échantillon saturée (g) en eau pendant 48 h, $M_{\text{sèche}}$ est la masse de l'échantillon après passage à l'étuve, et $M_{\text{immergée}}$ la masse de l'échantillon en conditions hydrostatiques (saturées et immergées dans l'eau).

2.2 Caractérisation mécanique

À échéance prévue, les éprouvettes sont pesées puis testées en compression sur leurs faces latérales, initialement en contact avec les parois du moule en contre-plaqué baké-lisé. Les faces des échantillons n'ont subi aucun surfacage préalable. Afin d'étudier l'influence du plan de sollicitation sur les propriétés mécaniques des bétons, deux éprouvettes de chaque béton mature (âgé de plus d'un mois) ont été découpées dans le sens longitudinal et les deux demi-éprouvettes obtenues ont été testées dans deux directions différentes.

Les essais de compression sont réalisés avec une presse électromécanique équipée d'un capteur de force 50 kN et d'un plateau supérieur rotulé à la traverse (Fig. 2). La vitesse de la traverse est fixée à $5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Les dimensions des plateaux de la presse sont de $16 \times 30 \text{ cm}^2$. L'enregistrement du déplacement de la traverse et de la force appliquée permet d'accéder aux propriétés mécaniques (résistance à la compression et module d'élasticité) des éprouvettes.

2.3 Caractérisation hydrique

La caractérisation hydrique repose sur la mesure de l'isotherme de sorption à 23 °C ainsi

Fig. 1. Présentation des procédés A et B.

Fig. 1. Presentation of processes A and B.

Tableau 1. Composition des bétons de chanvre étudiés.

Table 1. Composition of the studied hempcretes.

Matériau	Procédé	Type de Liant	Granulats
A	Projection	Tradical® PF70	Chènevotte
B	Moulage + vibration	Lait de chaux + chaux hydraulique	Chènevotte
C	Moulage + compactage	Tradical® PF70	Chanvre fibré

Fig. 2. Illustrations des différentes tailles d'éprouvettes testées. (a) Éprouvette entière 30 × 30 × 16 cm³ ; (b) demi-épreuve horizontale, testée sur la face 30 × 15 cm² ; (c) demi-épreuve verticale testée sur la face 15 × 16 cm².

Fig. 2. Illustrations of the different specimen sizes. (a) Full specimens 30 × 30 × 16 cm³; (b) horizontal half-specimen, tested on 30 × 15 cm²-face; (c) vertical half-specimen, tested on 15 × 16 cm²-face.

1 que sur la mesure de la perméabilité à la va-
2 peur.

3 La mesure des isothermes de sorption
4 est basée sur la méthode discontinue par
5 paliers successifs d'humidité relative am-
6 biente croissante [9]. Le séchage initial est
7 réalisé en chambre sèche avec du gel de si-
8 lice puis sous vide. Les mesures sont réali-
9 sées sans atteindre l'équilibre hydrique des
10 échantillons. En effet, un modèle exponen-
11 tiel permettant de décrire les cinétiques de
12 sorption a été défini [10]. L'ajustement des
13 paramètres de ce modèle permet d'identi-
14 fier la teneur en eau à l'équilibre sans l'at-
15 teindre expérimentalement. Ceci permet de
16 réduire le temps de mesure et de limiter les
17 durées d'exposition des échantillons aux dif-

férentes humidités. En effet, une exposition
prolongée aux humidités élevées peut abou-
tir à l'apparition de moisissures changeant
ainsi la nature du matériau. Les mesures sont
réalisées sur cinq à six échantillons pour les
différents matériaux. Ces échantillons ont un
diamètre (ou un côté) d'environ 5 cm et une
hauteur d'environ 7 cm, ce qui renferme le
volume élémentaire représentatif (VER) du
matériau et assure une mesure représenta-
tive à l'échelle macroscopique.

La mesure de perméabilité à la vapeur
est réalisée selon la méthode de la cou-
pelle à 23 °C [11]. Le couple d'humidités
relatives testé est (0 °C ; 50 %). L'ambiance
sèche est obtenue par du gel de silice placé
dans la coupelle. L'ambiance 23 °C ; 50 %

18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34

Tableau 2. Composition en fraction massique des différents matériaux.

Table 2. Mass fraction composition of the different materials.

Matériau	Liant % massique	Granulats % massique	Teneur en eau initiale	Porosité ouverte
A	~66	~34	0,41 kg.kg ⁻¹	0,5–0,56
B	~65	~35	0,85 kg.kg ⁻¹	0,51–0,58
C	~68	~32	0,85 kg.kg ⁻¹	0,49–0,53

est maintenue par la climatisation de l’ambiance d’essai. Les mesures sont réalisées sur trois échantillons pour chaque matériau. Ces échantillons ont une hauteur d’environ 5 cm et un diamètre d’environ 10 cm ce qui comprend aussi le VER des bétons de chanvre et conduit à une mesure représentative à l’échelle macroscopique.

2.4 Caractérisation thermique

Du fait de la difficulté de déterminer la conductivité thermique dans le cas de matériaux fortement hétérogènes, deux méthodes de mesure ont été exploitées. Une première méthode stationnaire est dite par plaque chaude gardée. Le principe de base de la méthode est d’imposer, en régime permanent, un écart de température d’environ 15 °C, entre les 2 faces d’un échantillon de forme parallélépipédique, afin de limiter l’incertitude de la méthode estimée à 10 % [12, 13]. Cette méthode nécessite une très bonne planéité de l’échantillon. Par ailleurs, le gradient thermique appliqué peut induire des phénomènes de thermomigration non négligeables au sein du matériau. Le recours à des méthodes transitoires permet de minimiser ce problème du fait des durées d’expérimentation beaucoup plus courtes. Ainsi, une seconde méthode de type fil chaud qui permet d’accéder à la conductivité et à la diffusivité thermique de matériaux a été exploitée. Dans le dispositif utilisé, le fil chauffant possède un rayon r_0 de 1,25 mm et une longueur L de 13 cm. Trois thermocouples de 0,1 mm de diamètre, soudés en trois points le long du fil, mesurent l’augmentation de température au cours du temps. En parallèle, un relevé de la puissance dissipée par le fil permet de remonter à la densité de puissance transmise par conduction dans le matériau.

Pour des temps longs, l’équation analytique complète prenant en compte le rayon

du fil et la résistance de contact entre le fil et le milieu R_c (K.W⁻¹) est la suivante [14] :

$$T(t) - T_0 \approx \frac{\Phi}{4\pi\lambda_{\text{eff}}L} \ln(t) + \Phi \times \left[R_c - \frac{\ln\left(\frac{r_0}{\sqrt{a_{\text{eff}}}}\right)}{2\pi\lambda_{\text{eff}}L} + \frac{\gamma}{4\pi\lambda_{\text{eff}}L} \right] \quad (2)$$

où Φ est la puissance dissipée (W) et γ la constante d’Euler. Cette équation fait intervenir la conductivité λ_{eff} (W.m⁻¹.K⁻¹) et la diffusivité thermique a_{eff} (m².s⁻¹) effectives du milieu. Un programme d’estimation de paramètres détermine ces deux grandeurs ainsi que la résistance de contact R_c .

3 Résultats et discussion

Le tableau 2 présente les proportions de liant et de particules végétales utilisées pour réaliser les éprouvettes testées. On a constaté une dispersion assez importante des masses volumiques apparentes entre les éprouvettes même lorsqu’elles sont réalisées par le même procédé de fabrication. Des observations par microscopie électronique de la microstructure de chaque béton ont montré une bonne adhérence entre les granulats et la matrice cimentaire.

3.1 Propriétés mécaniques

L’évolution des propriétés mécaniques de pâtes de chaux est présentée sur la figure 3. On observe que l’augmentation du rapport eau/liant (E/C) engendre une chute importante des performances mécaniques de la matrice minérale dès le très jeune âge et à plus long terme. Cette diminution des propriétés mécaniques s’explique par l’augmentation de porosité du matériau liée à l’augmentation de la quantité d’eau de gâchage initiale.

Fig. 3. Évolution des propriétés mécaniques de deux pâtes de chaux Tradical® PF70 à 20 °C.

Fig. 3. Evolution of mechanical properties of Tradical® PF70 lime paste at 20 °C.

La figure 4 présente des exemples d'éprouvettes matures testées en compression. La rupture se fait principalement par cisaillement, selon un plan de rupture différent pour les éprouvettes. Sur les demi-éprouvettes testées selon deux directions normales, les modes de rupture sont très différents (Figs. 4d et 4e). Dans le cas des demi-éprouvettes verticales, le plan de rupture est clairement identifié et la contrainte en compression passe par un maximum avant de décroître lentement, tandis que pour les demi-éprouvettes horizontales, on observe un écrasement du matériau avec une augmentation continue de la contrainte. La résistance à la compression est alors prise égale à la valeur correspondant à la limite du comportement élastique, en accord avec les travaux d'Elfordy et al. [7].

Une relation de type loi-puissance semble exister entre la densité apparente ρ et la résistance à la compression R_c des matériaux matures (Fig. 5). La courbe modèle obtenue par Elfordy et al. [7] sur béton de chanvre projeté, a été ajoutée pour comparaison. Le procédé de mise en œuvre du béton (projeté en voie sèche ou moulé) présente l'effet le plus significatif sur la relation R_c (ρ) mise en évidence sur nos résultats. En effet, pour une densité donnée, le procédé par projection en voie sèche permet d'obtenir des résistances largement supérieures à celles mesurées sur les blocs mis en place par moulage.

On observe également que les demi-éprouvettes sollicitées horizontalement et verticalement, bien que présentant des fa-

ciés de rupture différents, manifestent des résistances à la compression du même ordre de grandeur, pour un même type de béton de chanvre.

3.2 Propriétés thermiques

La conductivité thermique du béton, en tant que produit fini, est encadrée par celles des particules végétales en vrac et du liant. La conductivité thermique effective des particules végétales a été mesurée par la méthode du fil chaud. Les mesures sur le liant ont été effectuées par la méthode de la plaque chaude gardée sur des échantillons de dimensions $10 \times 10 \times 3 \text{ cm}^3$. Les tableaux 3 et 4 regroupent les valeurs obtenues pour différentes masses volumiques. Elles sont proches de données disponibles dans la littérature [4–6].

La figure 6 donne les valeurs de la conductivité thermique λ_{eff} , des éprouvettes de béton de chanvre, obtenues par les méthodes de type plaque chaude gardée et fil chaud. Même si les points sont assez dispersés, en particulier pour le béton de chanvre projeté, la tendance est une augmentation quasi linéaire de cette propriété avec la masse volumique. Les valeurs obtenues pour les granulats et le liant qui sont reportées sur cette figure indiquent les limites.

La figure 7 montre l'incidence de l'humidité relative sur cette propriété. Ces mesures ont été réalisées pour des valeurs croissantes de l'humidité relative : 0 % → ◆, 25 % → ●, 50 % → ▲. Il est à noter que les mesures reportées pour $HR = 90 \%$ (■) ne sont pas

Fig. 4. Illustrations de différents faciès de rupture. (a) Éprouvette de Type A ; (b) éprouvette de Type B ; (c) éprouvette de Type C ; (d) demi-éprouvette verticale (Type C), sollicitée sur la face $15 \times 16 \text{ cm}^2$; (e) demi-éprouvette horizontale (Type B), sollicitée sur la face $30 \times 15 \text{ cm}^2$.

Fig. 4. Illustrations of different types of fractures. (a) Specimen of half-specimen (Type C), tested on $15 \times 16 \text{ cm}^2$ -face; (e) horizontal half-specimen (Type B), tested on $30 \times 15 \text{ cm}^2$ -face.

Fig. 5. Résistance à la compression des éprouvettes en fonction de leur densité apparente.

Fig. 5. Compressive strength vs. apparent density of hempcrete.

Tableau 3. Conductivités thermiques des particules végétales en vrac (HR = 50 %).

Table 3. Thermal conductivity of bulk vegetable particles.

Chênevotte		Chanvre fibré	
$\rho_{pv} \text{ kg.m}^{-3}$	$\lambda_{pv} \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$	$\rho_{pv} \text{ kg.m}^{-3}$	$\lambda_{pv} \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
150	0,07	145	0,07
152	0,07	148	0,08
177	0,11	156	0,10

Tableau 4. Conductivités thermiques du liant.

Table 4. Thermal conductivity of lime binder.

HR = 0 %		HR = 50 %	
$\rho_l \text{ kg.m}^{-3}$	$\lambda_l \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$	$\rho_l \text{ kg.m}^{-3}$	$\lambda_l \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
990	0,20	1004	0,25
978	0,21	997	0,25

1 représentatives. En effet, dans ces conditions
2 le temps de stabilisation très long des éprou-
3 vettes conduit à l'apparition de moisissures.
4 Le tableau 5 regroupe les valeurs de la
5 conductivité et de la diffusivité thermique
6 λ_{eff} , a_{eff} obtenues par la méthode du fil
7 chaud, à partir de l'équation (2). Pour chaque
8 formulation il s'agit de la moyenne de me-

sures réalisées sur différents échantillons. La
dernière colonne du tableau 5 correspond au
rapport de la conductivité sur la diffusivité
thermique. Les résultats obtenus sont en ac-
cord avec des données qu'on peut trouver
dans la littérature [4–6,8].

3.3 Propriétés hydriques

Les figures 8 et 9 présentent les propriétés
hydriques des bétons de chanvre A, B et C.
La figure 8 donne les isothermes de sorp-
tion (valeur moyenne et écart-type). Les iso-
thermes de sorption mesurées sur les trois
matériaux présentent des allures et des va-
leurs similaires jusqu'à 90 % HR. La quantité
d'eau adsorbée étant liée à la surface spéci-
fique du matériau et à sa porosité, ces résul-
tats sont cohérents avec le fait que les maté-
riaux présentent des porosités similaires.

Aux humidités relatives les plus faibles
(jusqu'à 81 % HR), le matériau A présente
les teneurs en eau les plus importantes alors
que le matériau B donne les valeurs les plus
faibles. À partir de 81 % HR, le matériau
B présente des teneurs en eau plus impor-
tantes que les matériaux A et C. L'évolution
de teneur en eau est plus importante pour le
matériau B, celui-ci est donc plus hygroscopique que les matériaux A et C.

La figure 9 donne les perméabilités à
la vapeur mesurées à (0 %; 50 %). Ces
valeurs sont également comparables pour
les trois matériaux : de l'ordre de 2,5 à
 $2,6 \times 10^{-11} \text{ kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$. Ces perméabili-
tés conduisent à des facteurs de résistance à
la vapeur d'eau similaires à ceux des bétons
de bois.

Fig. 6. Conductivité thermique à $HR = 50\%$ et $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Fig. 6. Thermal conductivity at $RH = 50\%$ and $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Fig. 7. Conductivité thermique en fonction de l'Humidité Relative.

Fig. 7. Thermal conductivity vs. Relative Humidity

Tableau 5. Propriétés thermophysiques obtenues par la méthode du fil chaud à 50 % HR.

Table 5. Thermophysical properties obtained by the hot wire method at 50% RH.

Matériau	ρ (kg.m ⁻³)	λ_{eff} (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	a_{eff} (10 ⁻⁷ m ² .s ⁻¹)	ρc_p (10 ⁴ J.m ⁻³ .K ⁻¹)
A	470	0,147	3,4	43
B	430	0,145	3,2	45
C	520	0,145	3,5	42

1 4 Conclusion

2 Afin de s'approcher au mieux des conditions
3 de mise en œuvre réelle, l'étude proposée a
4 été menée sur des blocs de bétons de chanvre
5 fabriqués en conditions industrielles. L'hété-
6 rogénéité des matériaux, induite par les gra-
7 nulats et les procédés de mise en œuvre, im-
8 plique de travailler sur des échantillons de
9 dimensions suffisantes pour être représenta-
10 tifs. Des moyens de caractérisation adaptés
11 ont été utilisés.

12 Les essais mécaniques ont révélé que la
13 teneur en eau initiale a une incidence sur

la résistance en compression en modifiant la
compacité finale du mélange. Ainsi, le pro-
cédé par projection permet d'obtenir des ré-
sistances à la compression supérieures aux
procédés « voie humide ». D'autre part, l'uti-
lisation de chanvre fibré améliore la « tenue »
du matériau au sens de sa ductilité, mais n'a
pas d'impact sur les valeurs des résistances
en compression.

En ce qui concerne les propriétés liées
aux phénomènes de transfert et de stockage
dans les matériaux (conductivité et diffusi-
vité thermiques, perméabilité à la vapeur,
isothermes de sorption), elles évoluent en

Fig. 8. Isotherme d'adsorption à 23 °C des bétons de chanvre A, B et C.

Fig. 8. Adsorption isotherm at 23 °C of hemp concretes A, B and C.

Fig. 9. Perméabilité à la vapeur des bétons de chanvre A, B et C. (23 °C, 0 %-50 %).

Fig. 9. Water vapour permeability of hemp concretes A, B and C.

1 fonction de la masse volumique, de la teneur
2 en eau et dépendent peu du procédé de mise
3 en œuvre. Les bétons de chanvre étudiés pré-
4 sentent des valeurs de perméabilités simi-
5 laires, de l'ordre de $2 \times 10^{-11} \text{ kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$
6 pour le couple normatif 0-50 %, comparables
7 à celles trouvées dans la littérature pour des
8 bétons de bois. Pour les aspects isolation
9 thermique, une augmentation quasi linéaire
10 de la conductivité effective avec la masse vo-
11 lumique apparente a été observée. Les me-
12 surettes réalisées ont également montré la né-
13 cessité de prendre en compte la teneur en
14 eau.

En conclusion, le béton de chanvre est
un biomatériau composite léger à classer
parmi les bétons légers. Il s'agit d'un ma-
tériau capillaro-poreux hygroscopique non
porteur ce qui conduit à l'utiliser princi-
palement en matériau de remplissage. Les
mesures réalisées montrent que les pro-
priétés relatives au comportement thermo-
hydrique sont relativement proches de celles
du béton de bois et du béton cellulaire.

Remerciements

Nous remercions l'Agence Nationale de la Re-
cherche ainsi que la région Bretagne pour le fi-
nancement de ces travaux.

Références

- [1] G. Escadeillas, *Les éco-matériaux dans la construction : enjeux et perspectives*, Septième édition des Journées scientifiques du Regroupement francophone pour la recherche et la formation sur le béton, (RF) 2B, Toulouse, France, 2006
- [2] F. Collet, *Caractérisation hydrique et thermique de matériaux de génie civil à faibles impacts environnementaux*, Thèse de Doctorat, INSA de Rennes, 2004
- [3] V. Desarnaulds, E. Costanzo, A. Carvalho, B. Arlaud, *Sustainability of acoustic materials and acoustic characterization of sustainable materials*, Twelfth International Congress on Sound and Vibration, Lisbon, Portugal, 2005
- [4] V. Cérézo, *Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales : approche expérimentale et modélisation théorique*, Thèse de Doctorat, École Nationale des Travaux Publics de l'État, 2005
- [5] A. Evrard, *Sorption behavior of Lime-Hemp Concrete and its relation to indoor comfort and energy demand*, PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Genève, Suisse, 2006
- [6] F. Collet, M. Bart, L. Serres, J. Miriel, *Porous structure and water vapor sorption of hemp-based materials*, *Construction and Building Materials* **22** 1271-1280 (2008)
- [7] S. Elfordy, F. Lucas, F. Tancret, Y. Scudeller, L. Goudet, *Construction and Building Materials* **22** 2116-2123 (2008)
- [8] Y. Hustache, L. Arnaud, *Synthèse des connaissances sur les bétons et mortiers de chanvre*, Construire en Chanvre, 2008
- [9] NF EN ISO 12571, *Performance hygrothermique des matériaux et produits pour le bâtiment, Détermination des propriétés de*

1	sorption hygroscopique, Indice de classe-	[13] S. Klarsfeld, Guarded Hot Plate Method	15
2	ment, 2000, pp. 50-758	for Thermal Conductivity Measurements,	16
3	[10] F. Collet, S. Prétot, Caractérisation hydrique	Compendium of Thermophysical Property	17
4	de béton de chanvre projeté. Possibilité de	Measurement Methods, Recommended	18
5	mesure en régime dynamique ?, XXVIIèmes	Measurement Techniques and Practices,	19
6	rencontres universitaires de Génie Civil,	K.D. Maglic, A. Cezairliyan, and V.E.	20
7	Saint-Malo, 2009	Peletsky, Plenum Press, New York, Vol. 2,	21
8	[11] NF EN ISO 12572, Détermination des pro-	1992, pp. 99-131	22
9	priétés de transmission de la vapeur d'eau,	[14] Y. Jannot, <i>Du séchage des produits alimen-</i>	23
10	2001	<i>taires tropicaux à la caractérisation thermophy-</i>	24
11	[12] A.W. Pratt, Heat Transmission in	<i>sique des solides</i> , Habilitation à diriger des	25
12	Low Conductivity Materials, Thermal	recherches, 2006	26
13	Conductivity, R.P. Tye, Academic Press,	[15] Règle TH-U – Fascicule 2/5, réglementation	27
14	London, 1969, pp. 301-405	Thermique, 2005	28