



HAL
open science

Propriétés physiques de bétons de chanvre

Patrick Glouannec, Florence Collet, Christophe Lanos, Pierre Mounanga,
Thomas Pierre, Philippe Poullain, Sylvie Prétot, Julien Chamoin, Atika
Zaknoune

► **To cite this version:**

Patrick Glouannec, Florence Collet, Christophe Lanos, Pierre Mounanga, Thomas Pierre, et al.. Propriétés physiques de bétons de chanvre. *Matériaux & Techniques*, 2011, 99, pp.657-665. 10.1051/mat-tech/2011047 . hal-00718178

HAL Id: hal-00718178

<https://hal.science/hal-00718178>

Submitted on 22 Jun 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Propriétés physiques de bétons de chanvre

**P. Glouannec¹, F. Collet², C. Lanos², P. Mounanga³, T. Pierre¹,
P. Poullain³, S. Pretot², J. Chamoin² et A. Zaknoue¹**

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 **U**n des enjeux environnementaux et les différentes parois des bâtiments (murs, 17
2 écologiques dans le domaine du bâti- toiture, plancher. . .), il permet de constituer 18
3 timent est la réduction significative une enveloppe à isolation répartie. 19
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

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

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

6 Dans la première partie de l'article les
7 méthodes de mise en œuvre et de caracté-
8 risation exploitées sont décrites. La seconde
9 partie est consacrée à la présentation des ré-
10 sultats.

11 **1 Formulations et mise en œuvre** 12 **des éprouvettes**

13 La fabrication des éprouvettes a été réalisée
14 par des moyens de type industriel par les
15 trois entreprises partenaires du projet (SI2C,
16 Easy chanvre et Terrachanvre). Trois maté-
17 riaux dont la composition et le mode de
18 mise en œuvre sont différents ont été étudiés
19 (Tab. 1). Les bétons de chanvre de Types A
20 et C sont fabriqués avec du Tradical® PF70.
21 Il s'agit d'un liant à base de chaux aérienne
22 (75 %), de liants hydrauliques (15 %) et de
23 pouzzolane (10 %). Pour le béton de chanvre
24 de Type B, le liant utilisé est une préparation
25 propre à la société. Il s'agit d'un mélange de
26 lait de chaux et de chaux hydraulique. En ce
27 qui concerne les granulats, les matériaux A
28 et B sont à base de chènevotte, tandis que les
29 bétons C contiennent un chanvre fibré (mé-
30 lange de chènevotte et de fibre).

31 Pour le matériau A, la mise en œuvre est
32 réalisée par projection. Le mélange « liant-
33 chènevotte » est brassé à sec, l'eau est ajoutée
34 uniquement en bout de la lance de projection
35 (Fig. 1). Le matériau B est mis en œuvre selon
36 un procédé industriel : la pâte de chaux et le
37 chanvre sont mélangés dans un mélangeur
38 à bi-vis contrarotatives. Le mélange obtenu
39 est ensuite acheminé vers les moules, rem-
40 plis sous vibration. Pour le matériau C, le
41 « mélange-malaxage » est effectué dans une
42 bétonnière et le produit est ensuite légè-
43 rement compacté dans les moules.

44 Les échantillons, fabriqués par les trois
45 entreprises partenaires du projet, se pré-
46 sentent sous la forme de blocs parallélépipé-
47 diques de $30 \times 30 \times 16 \text{ cm}^3$. Après fabrication,
48 les blocs sont conditionnés en chambre cli-
49 matique maintenue à $22 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ et 50 % HR
50 (Humidité Relative).

2 **Méthodes de mesure** 3 **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 sa-
turée (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 im-
mergées dans l'eau).

2.2 **Caractérisation mécanique**

À échéance prévue, les éprouvettes sont pe-
sées 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 au-
cun surfacage préalable. Afin d'étudier l'in-
fluence du plan de sollicitation sur les pro-
priétés mécaniques des bétons, deux éprou-
vettes 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 vi-
tesse 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 me-
sure de l'isotherme de sorption à $23 \text{ }^\circ\text{C}$ ainsi

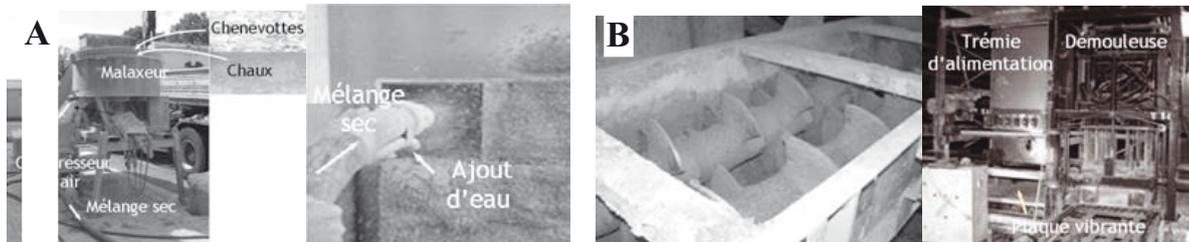


Fig. 1. Présentation des procédés A et B.

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 + vibrage	Lait de chaux + chaux hydraulique	Chènevotte
C	Moulage + compactage	Tradical® PF70	Chanvre fibré

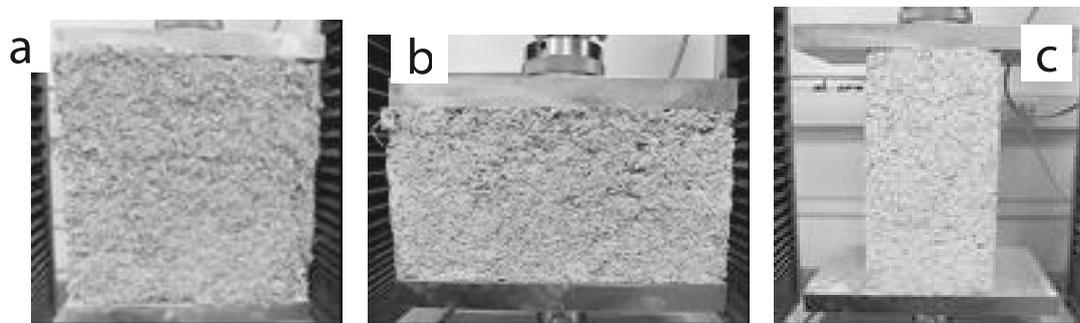


Fig. 2. Illustrations des différentes tailles d'éprouvettes testées. (a) Éprouvette entière 30 × 30 × 16 cm³; (b) demi-éprouvette horizontale, testée sur la face 30 × 15 cm²; (c) demi-éprouvette verticale testée sur la face 15 × 16 cm².

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 biance 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 %

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

1 est maintenue par la climatisation de l'ambi- 44
2 biance d'essai. Les mesures sont réalisées sur 45
3 trois échantillons pour chaque matériau. Ces
4 échantillons ont une hauteur d'environ 5 cm
5 et un diamètre d'environ 10 cm ce qui com-
6 prend aussi le VER des bétons de chanvre
7 et conduit à une mesure représentative à
8 l'échelle macroscopique.

9 2.4 Caractérisation thermique

10 Du fait de la difficulté de déterminer la 46
11 conductivité thermique dans le cas de ma- 47
12 tériaux fortement hétérogènes, deux mé- 48
13 thodes de mesure ont été exploitées. Une 49
14 première méthode stationnaire est dite par 50
15 plaque chaude gardée. Le principe de base 51
16 de la méthode est d'imposer, en régime per- 52
17 manent, un écart de température d'envi-
18 ron 15 °C, entre les 2 faces d'un échan-
19 tillon de forme parallélépipédique, afin de
20 limiter l'incertitude de la méthode estimée
21 à 10 % [12, 13]. Cette méthode nécessite
22 une très bonne planéité de l'échantillon.
23 Par ailleurs, le gradient thermique appliqué
24 peut induire des phénomènes de thermo-
25 migration non négligeables au sein du ma-
26 tériaux. Le recours à des méthodes transi-
27 toires permet de minimiser ce problème du
28 fait des durées d'expérimentation beaucoup
29 plus courtes. Ainsi, une seconde méthode
30 de type fil chaud qui permet d'accéder à la
31 conductivité et à la diffusivité thermique de
32 matériaux a été exploitée. Dans le dispositif
33 utilisé, le fil chauffant possède un rayon r_0 de
34 1,25 mm et une longueur L de 13 cm. Trois
35 thermocouples de 0,1 mm de diamètre, sou-
36 dés en trois points le long du fil, mesurent
37 l'augmentation de température au cours du
38 temps. En parallèle, un relevé de la puis-
39 sance dissipée par le fil permet de remon-
40 ter à la densité de puissance transmise par
41 conduction dans le matériau.

42 Pour des temps longs, l'équation analy- 46
43 tique complète prenant en compte le rayon 47

du fil et la résistance de contact entre le fil et 44
le milieu R_c (K.W⁻¹) est la suivante [14] : 45

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

où Φ est la puissance dissipée (W) et γ la 46
constante d'Euler. Cette équation fait inter- 47
venir la conductivité λ_{eff} (W.m⁻¹.K⁻¹) et la 48
diffusivité thermique a_{eff} (m².s⁻¹) effectives 49
du milieu. Un programme d'estimation de 50
paramètres détermine ces deux grandeurs 51
ainsi que la résistance de contact R_c . 52

53 3 Résultats et discussion

Le tableau 2 présente les proportions de liant 54
et de particules végétales utilisées pour réali- 55
ser les éprouvettes testées. On a constaté une 56
dispersion assez importante des masses vo- 57
luminiques apparentes entre les éprouvettes 58
même lorsqu'elles sont réalisées par le même 59
procédé de fabrication. Des observations par 60
microscopie électronique de la microstruc- 61
ture de chaque béton ont montré une bonne 62
adhérence entre les granulats et la matrice 63
cimentaire. 64

65 3.1 Propriétés mécaniques

L'évolution des propriétés mécaniques de 66
pâtes de chaux est présentée sur la figure 3. 67
On observe que l'augmentation du rapport 68
eau/liant (E/C) engendre une chute impor- 69
tante des performances mécaniques de la 70
matrice minérale dès le très jeune âge et 71
à plus long terme. Cette diminution des 72
propriétés mécaniques s'explique par l'aug- 73
mentation de porosité du matériau liée à 74
l'augmentation de la quantité d'eau de gâ- 75
chage initiale. 76

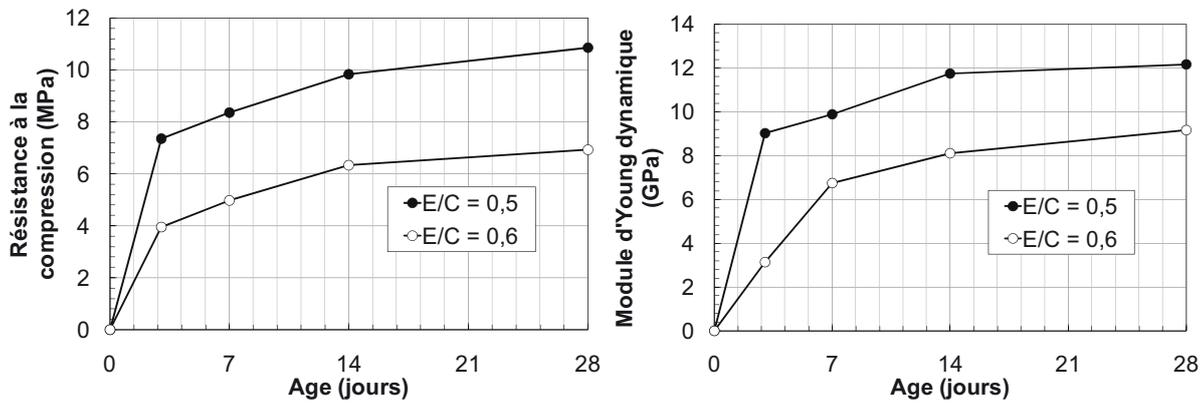


Fig. 3. Évolution des propriétés mécaniques de deux pâtes de chaux Tradical® PF70 à 20 °C.

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

1 La figure 4 présente des exemples
 2 d'éprouvettes matures testées en compres-
 3 sion. La rupture se fait principalement par
 4 cisaillement, selon un plan de rupture dif-
 5 férent pour les éprouvettes. Sur les demi-
 6 éprouvettes testées selon deux directions
 7 normales, les modes de rupture sont très dif-
 8 férents (Figs. 4d et 4e). Dans le cas des demi-
 9 éprouvettes verticales, le plan de rupture
 10 est clairement identifié et la contrainte en
 11 compression passe par un maximum avant
 12 de décroître lentement, tandis que pour les
 13 demi-éprouvettes horizontales, on observe
 14 un écrasement du matériau avec une aug-
 15 mentation continue de la contrainte. La ré-
 16 sistance à la compression est alors prise égale
 17 à la valeur correspondant à la limite du com-
 18 portement élastique, en accord avec les tra-
 19 vaux d'Elfordy et al. [7].

20 Une relation de type loi-puissance
 21 semble exister entre la densité apparente ρ
 22 et la résistance à la compression R_c des ma-
 23 tériaux matures (Fig. 5). La courbe modèle
 24 obtenue par Elfordy et al. [7] sur béton de
 25 chanvre projeté, a été ajoutée pour comparai-
 26 son. Le procédé de mise en œuvre du béton
 27 (projeté en voie sèche ou moulé) présente
 28 l'effet le plus significatif sur la relation R_c
 29 (ρ) mise en évidence sur nos résultats. En
 30 effet, pour une densité donnée, le procédé
 31 par projection en voie sèche permet d'obte-
 32 nir des résistances largement supérieures à
 33 celles mesurées sur les blocs mis en place par
 34 moulage.

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

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

3.2 Propriétés thermiques

42 La conductivité thermique du béton, en tant
 43 que produit fini, est encadrée par celles des
 44 particules végétales en vrac et du liant. La
 45 conductivité thermique effective des parti-
 46 cules végétales a été mesurée par la méthode
 47 du fil chaud. Les mesures sur le liant ont
 48 été effectuées par la méthode de la plaque
 49 chaude gardée sur des échantillons de di-
 50 mensions $10 \times 10 \times 3 \text{ cm}^3$. Les tableaux 3
 51 et 4 regroupent les valeurs obtenues pour
 52 différentes masses volumiques. Elles sont
 53 proches de données disponibles dans la lit-
 54 térature [4–6].
 55

56 La figure 6 donne les valeurs de la
 57 conductivité thermique λ_{eff} , des éprouvettes
 58 de béton de chanvre, obtenues par les mé-
 59 thodes de type plaque chaude gardée et
 60 fil chaud. Même si les points sont assez
 61 dispersés, en particulier pour le béton de
 62 chanvre projeté, la tendance est une augmen-
 63 tation quasi linéaire de cette propriété avec
 64 la masse volumique. Les valeurs obtenues
 65 pour les granulats et le liant qui sont repor-
 66 tées sur cette figure indiquent les limites.

67 La figure 7 montre l'incidence de l'humidi-
 68 tés relative sur cette propriété. Ces meures
 69 ont été réalisées pour des valeurs croissantes
 70 de l'humidité relative : 0 % \rightarrow \blacklozenge , 25 % \rightarrow \bullet ,
 71 50 % \rightarrow \blacktriangle . Il est à noter que les mesures
 72 reportées pour $HR = 90 \%$ (\blacksquare) 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.

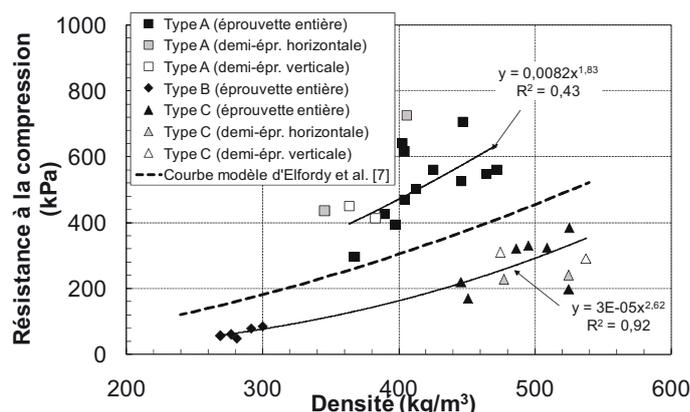


Fig. 5. Résistance à la compression des éprouvettes en fonction de leur densité apparente.

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 éprouvettes conduit à l'apparition de moisissures.
 3
 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-

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

3.3 Propriétés hydriques

15
 16 Les figures 8 et 9 présentent les propriétés
 17 hydriques des bétons de chanvre A, B et C.
 18 La figure 8 donne les isothermes de sorption
 19 (valeur moyenne et écart-type). Les isothermes
 20 de sorption mesurées sur les trois matériaux
 21 présentent des allures et des valeurs
 22 similaires jusqu'à 90 % HR. La quantité
 23 d'eau adsorbée étant liée à la surface spéci-
 24 fique du matériau et à sa porosité, ces résul-
 25 tats sont cohérents avec le fait que les maté-
 26 riaux présentent des porosités similaires.

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

37 La figure 9 donne les perméabilités à
 38 la vapeur mesurées à (0 % ; 50 %). Ces
 39 valeurs sont également comparables pour
 40 les trois matériaux : de l'ordre de 2,5 à
 41 $2,6 \times 10^{-11} \text{ kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{Pa}^{-1}$. Ces perméabili-
 42 tés conduisent à des facteurs de résistance à
 43 la vapeur d'eau similaires à ceux des bétons
 44 de bois.

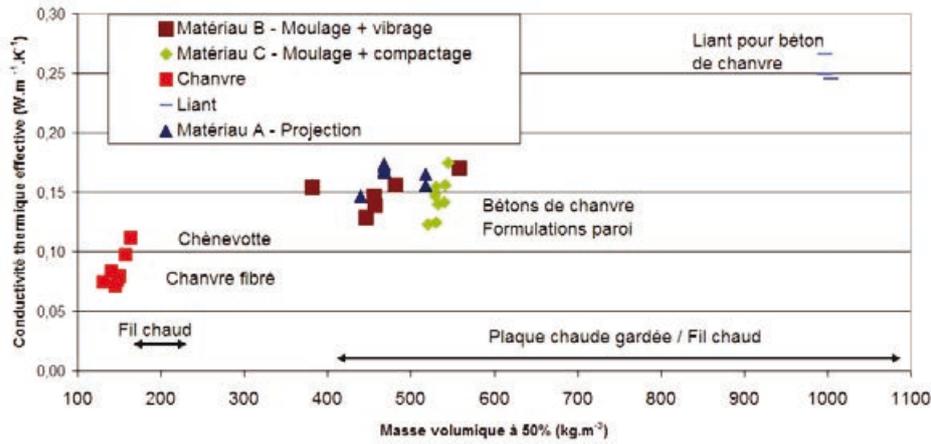


Fig. 6. Conductivité thermique à HR = 50 %. et T = 20 °C.

Fig. 6. Thermal conductivity at RH = 50% and T = 20 °C.

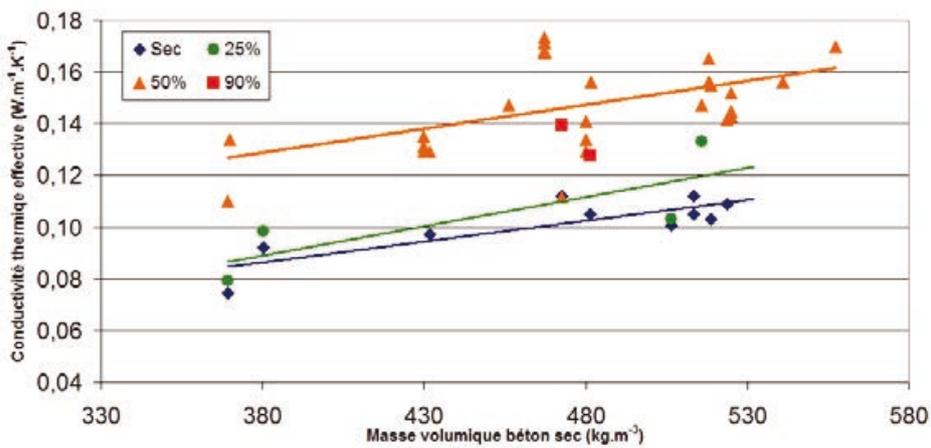


Fig. 7. Conductivité thermique en fonction de l'Humidité Relative.

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'hétéro-
 6 généité des matériaux, induite par les gran-
 7 ulats 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
 14 compacité finale du mélange. Ainsi, le
 15 procédé par projection permet d'obtenir des ré-
 16 sistances à la compression supérieures aux
 17 procédés « voie humide ». D'autre part, l'uti-
 18 lisation de chanvre fibré améliore la « tenue »
 19 du matériau au sens de sa ductilité, mais n'a
 20 pas d'impact sur les valeurs des résistances
 21 en compression.
 22

En ce qui concerne les propriétés liées
 23 aux phénomènes de transfert et de stockage
 24 dans les matériaux (conductivité et diffusi-
 25 vité thermiques, perméabilité à la vapeur,
 26 isothermes de sorption), elles évoluent en
 27

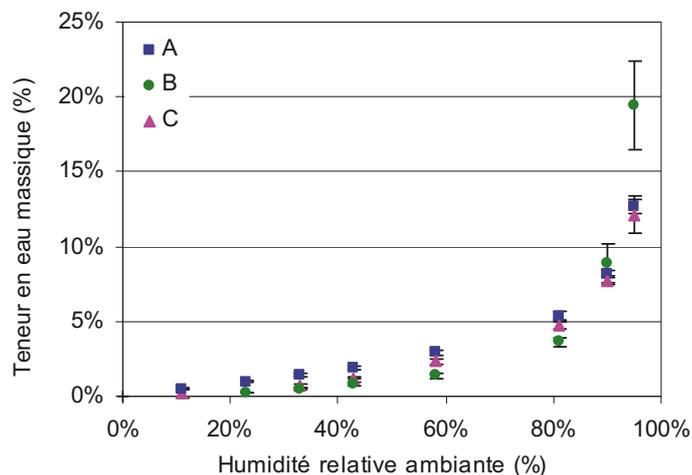


Fig. 8. Isotherme d'adsorption à 23 °C des bétons de chanvre A, B et C.

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

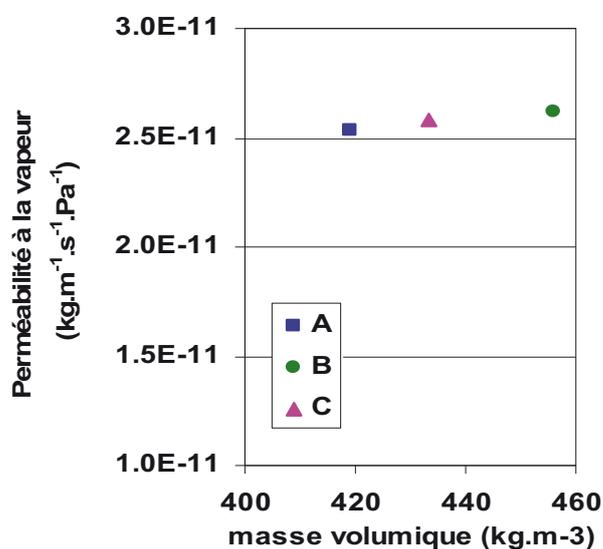


Fig. 9. Perméabilité à la vapeur des bétons de chanvre A, B et C. (23 °C, 0 %–50 %).

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 sures 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-
 tériaux capillaro-poreux hygroscopique non
 porteur ce qui conduit à l'utiliser princi-
 palement en matériau de remplissage. Les
 mesures réalisées montrent que les prop-
 riétés 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-
2 ment, 2000, pp. 50-758
- 3 [10] F. Collet, S. Prétot, Caractérisation hydrique
4 de béton de chanvre projeté. Possibilité de
5 mesure en régime dynamique ?, XXVII èmes
6 rencontres universitaires de Génie Civil,
7 Saint-Malo, 2009
- 8 [11] NF EN ISO 12572, Détermination des pro-
9 priétés de transmission de la vapeur d'eau,
10 2001
- 11 [12] A.W. Pratt, Heat Transmission in
12 Low Conductivity Materials, Thermal
13 Conductivity, R.P. Tye, Academic Press,
14 London, 1969, pp. 301-405
- [13] S. Klarsfeld, Guarded Hot Plate Method
for Thermal Conductivity Measurements,
Compendium of Thermophysical Property
Measurement Methods, Recommended
Measurement Techniques and Practices,
K.D. Maglic, A. Cezairliyan, and V.E.
Peletsky, Plenum Press, New York, Vol. 2,
1992, pp. 99-131
- [14] Y. Jannot, *Du séchage des produits alimen-
taires tropicaux à la caractérisation thermophy-
sique des solides*, Habilitation à diriger des
recherches, 2006
- [15] Règle TH-U – Fascicule 2/5, réglementation
Thermique, 2005