
Performances des bétons de chanvre : des propriétés microscopiques aux propriétés fonctionnelles

Delannoy Guillaume¹, Marceau Sandrine¹, Glé Philippe², Gourlay Etienne², Guéguen-Minerbe Marielle¹, Diafi Dinarzed¹, Nour Issam¹, Amziane Sofiane³, Farcas Fabienne¹

¹ Université Paris-Est, IFSTTAR, MAST/CPDM, 77447 Marne-la-Vallée Cedex 2, France :
guillaume.delannoy@ifsttar.fr ; sandrine.marceau@ifsttar.fr ; marielle.gueguen@ifsttar.fr ;
dinarzed.diafi@ifsttar.fr ; issam.nour@ifsttar.fr ; fabienne.farcas@ifsttar.fr

² Cerema, Laboratoire de Strasbourg, 11 rue Jean Mentelin, BP 9, 67035 Strasbourg Cedex 2, France :
philippe.gle@cerema.fr ; etienne.gourlay@cerema.fr

³ Université de Clermont-Ferrand, Institut Pascal, Polytech' Clermont-Ferrand, 63147 Aubière Cedex, France :
sofiane.amziane@polytech.univ-bpclermont.fr

RÉSUMÉ. Le béton de chanvre est un matériau biosourcé performant pour l'isolation des bâtiments. Il améliore aussi le confort au sein de l'habitat grâce à ses propriétés hygrothermiques et acoustiques. Le matériau est constitué de granulats végétaux très poreux (chènevotte) qui sont agglomérés à l'aide d'un liant minéral à base de chaux ou de ciment. Les performances d'isolation thermique et acoustique du béton de chanvre sont liées à sa porosité élevée. Dans cette étude, les relations entre les propriétés mesurées à différentes échelles sont présentées ainsi que l'impact du choix du type de liant. Pour cela, deux formulations « Mur » sont utilisées, avec une chènevotte et deux liants commerciaux : un liant formulé à base de chaux, et un ciment naturel. Le comportement thermique, hygroscopique et acoustique des deux bétons de chanvre est similaire, quelque soit le liant utilisé. Ces résultats sont expliqués par une porosité équivalente pour les deux formulations. Les résistances à la compression des deux formulations sont faibles, potentiellement dues à une inhibition des réactions d'hydratation des liants par les molécules extractibles dans l'eau de la chènevotte.

ABSTRACT. Hemp concrete is a biobased insulation material. The material provides comfort in habitation with hygrothermal and acoustical properties. Hemp concrete is composed of highly porous hemp granulates (shiv), bind with mineral binders based on lime or cement.

Functional properties are linked to the porosity of the material. Porosity of mineral binders can change with chemical composition (lime, cement or pozzolan). The influence of the binder's choice is investigated as the link between all the properties.

In this study, two "wall" formulations are manufactured with one type of hemp shiv and two commercial binders: natural cement and a formulated binder based on lime. Similar behaviors are observed for thermal, hygroscopic and acoustical properties. That is explained by equivalent porosity. Compressive strengths are low for both hemp concretes; inhibition of hydration reactions by shiv molecules extractible in water may explain this result.

MOTS-CLÉS: isolant, biosourcé, béton de chanvre, multi fonctionnelle, porosité.

KEY WORDS: insulation, biobased, hemp concrete, multifunctional, porosity.

1. Introduction

Les matériaux biosourcés pour l'isolation se démocratisent, répondant aux attentes de meilleure gestion de l'énergie, d'amélioration du confort de l'habitat et de la protection de l'environnement tout en favorisant l'utilisation de matériaux à faibles impacts environnementaux.

Le béton de chanvre est un des matériaux biosourcés les plus couramment utilisés. Il est composé de granulats végétaux, la chènevotte, issus de la tige du chanvre qui sont agglomérés à l'aide d'un liant minéral à base de chaux ou de ciment. En plus d'assurer l'isolation thermique des bâtiments, ses propriétés hygrothermiques et acoustiques assurent un confort de l'habitat [GOU 14, GLE 13]. L'ensemble de ces propriétés est lié à la porosité très élevée de la chènevotte (supérieure à 80%). En revanche, cette porosité élevée induit une faible résistance mécanique du béton de chanvre qui n'est pas un matériau porteur.

Dans cette étude, l'influence de la microstructure de bétons de chanvre sur leurs propriétés fonctionnelles est analysée. Pour cela, deux formulations contenant une chènevotte commerciale et deux liants commerciaux différents couramment utilisés dans l'habitat ont été retenus. Il sera ainsi possible d'observer le rôle de la nature du liant sur la microstructure du béton. En effet, des études ont montré que la porosité d'un liant est liée à sa composition chimique [SIL 15], en mettant en évidence des porosités plus élevées pour des mortiers à base de chaux que pour des mortiers à base de ciment Portland.

Pour répondre à cette question, la microstructure et la porosité des deux bétons de chanvre sont observées et mesurées dans un premier temps. Une caractérisation des propriétés thermiques, hygroscopiques, acoustiques et mécaniques est ensuite présentée. Une attention particulière est portée l'analyse du lien entre la porosité et les propriétés fonctionnelles du matériau ainsi que sur l'impact du liant sur ces propriétés.

Ce travail constitue la première partie d'une étude plus globale visant à évaluer la durabilité des bétons de chanvre lorsqu'ils sont soumis à différents types de sollicitations environnementales et biologiques [MAR 16, DEL 16].

2. Matériaux

Pour la fabrication des éprouvettes de béton de chanvre, une formulation « Mur » est choisie avec un rapport massique Liant/Granulats de 2 et un rapport Eau/Liant de 1. Les granulats utilisés sont issus d'une chènevotte commerciale dédiée à l'isolation et conforme au label granulats chanvre de l'association CenC [CON 12]. Deux liants sont retenus :

- un liant formulé à base de chaux naturelle (70%), de liants hydrauliques et pouzzolaniques (30%),
- et un ciment naturel.

Les bétons de chanvre formulés avec ces deux liants sont respectivement appelés BC-FC et BC-CN.

La chènevotte ainsi que la moitié de l'eau sont d'abord introduites dans un malaxeur adapté, puis le liant minéral et le reste d'eau sont ajoutés. Le béton frais est ensuite introduit et compacté à la main dans des moules cylindriques jusqu'à obtenir une masse volumique à l'état frais d'environ 530 kg.m^{-3} (Tableau 1).

Une période de cure de 90 jours dans une pièce à humidité et température contrôlées (65% HR et 20°C) suit la fabrication des matériaux : sept jours après la fabrication, les éprouvettes sont démoulées et conservées pendant 81 jours. La teneur en eau influençant les propriétés du béton de chanvre [GOU 16], les éprouvettes sont séchées à 40°C pendant 48 heures avant la réalisation des essais. La masse volumique des éprouvettes sèches est alors de l'ordre de 350 kg.m^{-3} (Tableau 1).

Formulation	BC-FC	BC-CN
Masse volumique à l'état frais (kg.m^{-3})	533 ± 13	531 ± 19
Masse volumique à l'état sec (kg.m^{-3})	348 ± 10	350 ± 14
Porosité ouverte à l'air Φ (%)	$0,76 \pm 0,02$	$0,75 \pm 0,02$
Conductivité thermique λ ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)	$0,102 \pm 0,003$	$0,107 \pm 0,005$
Résistance en compression (MPa)	$0,13 \pm 0,01$	$0,2 \pm 0,1$

Tableau 1. Masse volumique à l'état frais et à l'état sec, porosité ouverte à l'air, conductivité thermique et résistance en compression de BC-FC et BC-CN

3. Résultats et discussion

3.1. Microstructure et porosité

La microstructure du béton de chanvre est observée au Microscope Electronique à Balayage (MEB). Pour cela, les échantillons de béton sont enrobés dans une résine, polis et métallisés. Des images caractéristiques des microstructures observées sont présentées pour le béton BC-FC (Figure 1-a) et BC-CN (figure 1-b). La structure globale des matériaux est semblable quelque soit le liant. Les granulats végétaux sont enrobés et liés entre eux par la matrice minérale. On observe une porosité entre les particules, à l'intérieur de la chènevotte et à l'intérieur du liant. Seuls les pores de plus grandes dimensions du liant sont visibles sur les images.

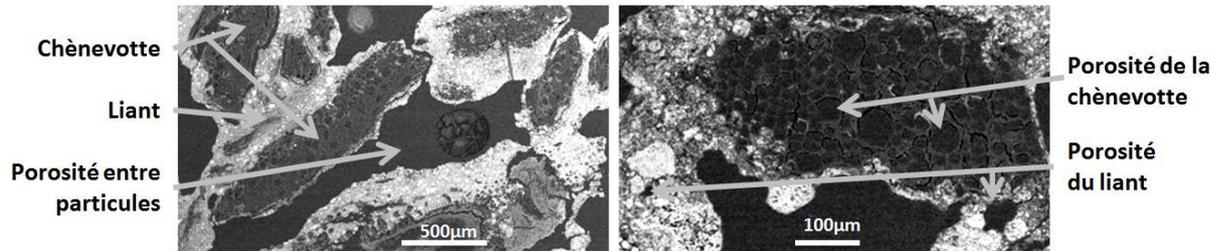


Figure 1. Microstructure du béton de chanvre et description des différents types de porosités : (gauche) BC-FC ; (droite) BC-CN

La porosité ouverte Φ du béton est quantifiée à l'aide d'un porosimètre à air. Les résultats sont présentés dans le tableau 1. La porosité ouverte des bétons est élevée, de l'ordre de 75% et ne dépend pas du type de liant.

3.2. Conductivité thermique

La conductivité thermique est mesurée à l'aide du système Hot Disk. Lors de la mesure, une sonde est placée entre deux éprouvettes de béton. Les conductivités thermiques obtenues pour les deux bétons de chanvre sont d'environ $0,1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ (Tableau 1). Aucune différence significative n'est observée entre les deux formulations.

3.3. Isothermes de sorption

Les isothermes de sorptions sont obtenues à l'aide d'un DVS (Dynamic Vapor Sorption) entre 0% HR et 92% HR à 25°C (Figure 2). Pour une humidité relative de 92% les deux bétons de chanvre adsorbent environ 12% d'eau en masse. Le même comportement est observé pour les deux formulations. Pour des HR supérieures à 80% la saturation est plus difficile à atteindre ce qui ne permet pas d'interpréter les écarts observés entre les deux bétons de chanvre

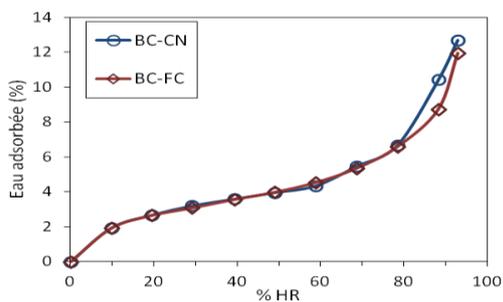


Figure 2. Isothermes de sorptions de BC-CN et BC-FC

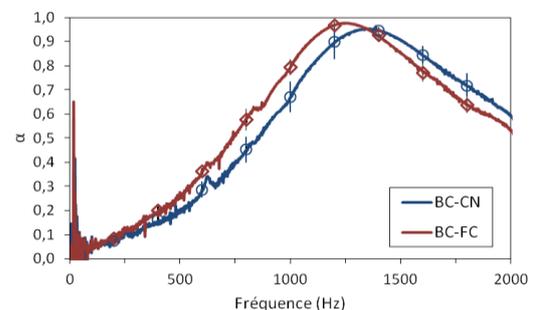


Figure 3. Coefficient d'adsorption acoustique de BC-CN et BC-FC

3.4. Propriétés acoustiques

Les propriétés acoustiques du béton de chanvre sont mesurées à l'aide d'un tube de Kundt. La variation du coefficient d'absorption acoustique α en fonction de la fréquence est reportée sur la Figure 3. BC-CN et BC-FC ont un comportement acoustique similaire. Avec un coefficient α élevé entre 500 Hz et 2000 Hz et un maximum d'absorption de 1 vers 1250 Hz, ces deux bétons ont de bonnes propriétés d'absorption acoustique.

3.5. Comportement mécanique.

Des essais en compression sont réalisés sur 3 éprouvettes de béton de chanvre pour chaque formulation. Les résultats sont présentés dans le Tableau 1. La résistance en compression du BC-FC ($0,13 \pm 0,01$ MPa) est inférieure à 0,2 MPa, valeur demandée par les recommandations de Construire en Chanvre [CON 12]. La résistance en compression du BC-CN ($0,2 \pm 0,1$ MPa) est conforme aux recommandations mais avec un fort coefficient de variation de 50%. Ces faibles résistances et cette importante variabilité peuvent être expliquées par une mauvaise interaction entre le liant et la chènevotte en partie due à une inhibition de la prise des liants par les molécules extraites de la chènevotte [DIQ 15].

4. Conclusion

La caractérisation de la microstructure et des propriétés fonctionnelles de deux bétons de chanvre (deux liants et une même chènevotte) après 90 jours de cure est présentée dans cet article. Un liant est formulé à base de chaux l'autre à base d'un ciment naturel. L'étude de l'impact du liant sur les propriétés fonctionnelles et la microstructure nous a permis de montrer que les deux formulations de béton ont :

1. Une porosité ouverte identique.
2. Des conductivités thermiques proches ($0,102$ et $0,107$ W.m⁻¹.K⁻¹).
3. Des isothermes de sorption qui révèlent un comportement hygroscopique similaire avec une adsorption de vapeur d'eau proche de 12% en masse à 92% HR.
4. Des comportements acoustiques identiques, avec un maximum d'absorption acoustique proche de 100% autour de 1250 Hz.
5. Des propriétés mécaniques faibles ($R_c \leq 0,2$ MPa) pouvant être expliquées par l'impact de composés extraits de la chènevotte sur l'hydratation du liant hydraulique.

Pour ces deux bétons de chanvre formulés à partir de liants différents, cette étude montre donc que la nature des liants utilisés impacte peu la microstructure. En conséquence, leurs propriétés fonctionnelles sont similaires. De plus, les faibles résistances mécaniques mesurées sont liées à un problème d'hydratation des liants.

5. Bibliographie

- [CON 12] CONSTRUIRE EN CHANVRE, « Construire en chanvre, règles professionnelles d'exécution », *SEBTP*, 2012.
- [DEL 16] DELANNOY, G., MARCEAU S., GUEGUEN-MINERBE M., GLE P., GOURLAY E., AMZIANE S., FARCAS, F., « Etude de la durabilité d'isolant à base de granulats végétaux – Méthodologie », *34^{ème} Rencontres Universitaires de Génie Civil de l'AUGC*, Liège, mai 2016.
- [DIQ 15] DIQUÉLOU Y., GOURLAY E., ARNAUD L., KUREK B., « Impact of hemp shiv on cement setting and hardening: Influence of the extracted components from the aggregates and study of the interfaces with the inorganic matrix », *Cement and Concrete Composites*, V. 55, 2015, pp. 112-121.
- [GOU 14] GOURLAY E., « Caractérisation expérimentale des propriétés mécaniques hygrothermiques du béton de chanvre : détermination de l'impact des matières premières et de la mise en œuvre », thèse de doctorat, ENTPE, 2014.
- [GOU 16] GOURLAY E., GLÉ P., MARCEAU S., FOY C., MOSCARDELLI S., « Effect of water content on the acoustical and thermal properties of hemp concretes », *Construction and Building Materials*, 2016, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.018>.
- [GLE 13] GLE P., « Acoustique des matériaux du bâtiment à base de fibres et particules végétales – Outils de caractérisation, modélisation et optimisation », thèse de doctorat, ENTPE, 2013.
- [MAR 16] MARCEAU S., GLÉ P., GUÉGUEN-MINERBE M., GOURLAY E., MOSCARDELLI S., NOUR I., AMZIANE S., « Influence of accelerated aging on the properties of hemp concretes », *Construction and Building Materials*, 2016, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.129>.
- [SIL 15] SILVA B.A., FERREIRA PINTO A.P., GOMES A., « Natural hydraulic lime versus cement for blended lime mortars for restoration works », *Construction and Building Materials*, V. 94, 2015, pp. 346-360.