
Développement de composites bio-sourcés destinés à l'isolation des bâtiments

Marie Viel¹

¹ Université de Rennes, Laboratoire Génie Civil et Génie Mécanique, BP 90422, Rennes, France
marie.viel@univ-rennes1.fr

RÉSUMÉ. Le but de ces travaux est de développer des panneaux bio-sourcés ayant de bonnes propriétés hygrothermiques, une faible énergie grise ainsi qu'une faible empreinte carbone. Cette étude est l'une des problématiques posées par le projet Européen ISOBIO. La clé de l'innovation réside dans l'utilisation de granulats bio-sourcés issus de l'agriculture locale (chènevottes, anas de lin, paille de blé, paille de colza, rafles de maïs), mélangés à un liant vert (extraction réalisée sur les agro-ressources ou sous-produit de l'industrie) afin de fabriquer des composites les moins impactants possible pour l'environnement. Des échantillons sont produits afin de les caractériser d'un point de vue thermique et hygrique et ainsi identifier le meilleur mélange liant/granulats. Les composites développés montrent des propriétés thermiques et hygriques intéressantes. Ils ont une faible conductivité thermique allant de 67 à 148 mW.m⁻¹.K⁻¹ en fonction du mélange liant/granulats. Ils sont également d'excellents régulateurs hygriques (MBV > 2 g/(m².%RH)). Ces résultats suggèrent que les composites développés peuvent être utilisés comme matériaux de construction, chaque composition pouvant être adaptée en fonction de l'utilisation souhaitée. En effet, certains composites seraient plus adaptés à la production de produits d'isolation thermique alors que d'autres le seraient plus dans le cas de panneaux de parement intérieurs.

ABSTRACT. This work aims to develop new bio-based materials with good hygrothermal properties, low embodied energy and low carbon footprint. This study is one of problematic issue involved by the European project ISOBIO. The use of bio-based aggregates from the local culture (hemp shiv, flax shiv, wheat straw, rape straw, corn cobs), mixed with a green binder (extraction carried out on agro-resources or by-products of industry) to produce composites with the least impact on the environment, is the key to innovation. Specimens are produced to characterize thermal and hygric properties of developed composites and to identify the best mixture between aggregate and binder. They show interesting thermal and hygric properties. They have low thermal conductivity ranging from 67 to 148 mW.m⁻¹.K⁻¹ and depending on the mix (aggregate with binder). They are excellent hygric regulators (MBV > 2 g/(m².%RH)). These results suggest that developed composites can be used as building materials but not for the same types of use. In fact, some composites would be more suitable for thermal insulating products and others would better suit to indoor facing panels.

MOTS-CLÉS : Matériaux d'isolation thermique, Chènevottes, Rafles de maïs, Liants verts, Valeur Tampon Hygrique, Conductivité thermique.

KEYWORDS: Thermal insulation materials, Hemp shiv, Corn cob, Green binders, Moisture Buffer Value, Thermal conductivity.

1. Introduction

Cette étude fait partie du projet européen ISOBIO qui vise à développer de nouveaux matériaux d'isolation biosourcés. L'objectif est de réduire l'énergie grise des matériaux tout en réduisant les besoins énergétiques totaux des bâtiments et en assurant un excellent confort hygrothermique aux utilisateurs. Deux types de produits sont développés dans le cadre du projet : un panneau isolant rigide ainsi qu'un isolant biosourcés à mettre en œuvre sur site. Le projet se concentre sur l'évaluation des agro-ressources en tant que granulats biosourcés et en tant que source de liants pour produire des composites entièrement biosourcés. Cinq types d'agro-ressources sont considérés : le chanvre, le lin, le colza, le blé et le maïs. Il s'agit de déchets agricoles ou de co-produits qui sont disponibles sous la forme de pailles, d'anas, de chènevottes, de fibres ou de poussières.

Les panneaux de paille compressés constituent une base de réflexion intéressante. Dans un tel cas aucun liant supplémentaire n'est nécessaire pour assurer un minimum de cohésion entre les granulats. La matière première est juste nettoyée et comprimée entre deux plaques chauffantes où elle subit un traitement hydrothermal à 200°C (comme le procédé STRAMIT [GLA 87]). La cohésion du matériau obtenu est alors assurée par la lignine libérée (entre 8 et 17 %), l'hémicellulose (entre 28 et 33 %) et la cellulose (entre 33 et 42 %) de la paille de blé [SUN 00]. Sur la base de cette observation, il est possible d'utiliser les composants contenus dans les granulats biosourcés pour formuler un liant vert. Le travail effectué initialement a permis d'évaluer la capacité des chènevottes à être collées par la paille de blé en utilisant le même processus de thermocompaction. La chènevotte a été mélangée avec de la paille de blé broyée infusée ou une infusion de paille broyée, à l'aide d'un mélangeur de laboratoire pour obtenir des composites biosourcés. Plusieurs ratios ont été testés; il a été montré que la paille de blé permettait une bonne cohésion du composite lorsque le mélange sec comprenait au moins 15 % de paille de blé [COL 17].

Dans l'esprit des panneaux de paille évoqués ci dessus, cette étude a pour but de développer des composites biosourcés devant servir de panneau d'isolation rigide. Deux types de granulats sont considérés : les chènevottes et les résidus de rafles de maïs (obtenus après traitement alcalin des rafles de maïs) sélectionnés en raison de leurs bonnes propriétés hygriques. Ensuite, six liants verts sont utilisés et comparés. Deux liants verts sont obtenus suite aux extractions réalisées sur les rafles de maïs et sur les fines de lin. Les autres liants proviennent de l'industrie comme la liqueur noire (sous-produit de l'industrie papetière), la mélasse (sous-produit de l'industrie sucrière), la lignine commerciale (sous-produit de l'industrie du bois) et le PLA (liant thermoplastique issu de ressources renouvelables). Des échantillons sont fabriqués afin de définir leurs performances hygrothermiques. Le but de ces caractérisations, en lien avec les objectifs en terme de réduction des besoins énergétiques des bâtiments et en terme de confort hygrothermique des utilisateurs, est d'identifier le meilleur mélange liant/granulats.

2. Matériel et méthode

2.1. Matières Premières

2.1.1. Liants

Six types de liants sont considérés dans cette étude. Tous les liants sont présentés Figure 1. Deux liants biosourcés sont développés à partir de la valorisation des agro-ressources fournies dans le cadre du projet. Trois autres proviennent de la valorisation des déchets industriels. Le dernier liant est un liant industriel fabriqué à partir de ressources renouvelables.

A partir de l'étude préliminaire [COL 17], un liant vert est développé en procédant à l'extraction des solubles des différentes agro-ressources. Cette méthode est étudiée dans un premier temps dans le cas de la paille de blé. Le processus d'extraction consiste à laisser macérer la paille de blé dans un solvant pendant plusieurs heures. Ensuite, la paille de blé est pressée afin de recueillir tout le solvant de l'extraction. Le solvant est partiellement évaporé afin de contrôler la concentration de la solution (Figure 2). Plusieurs essais sont réalisés pour identifier les conditions d'extraction optimales. En effet, pour le processus d'extraction, de nombreux facteurs peuvent affecter le rendement comme le temps de macération, la taille des granulats, la nature du solvant ou encore la concentration de solvant. A la suite de ces observations, des conditions optimales sont identifiées pour un rendement de 50 % lors d'une macération dans un solvant alcalin pendant 4 heures à 90°C. Ce processus est ensuite appliqué à chaque matière première fournie par la CAVAC, partenaire industriel du projet ISOBIO [VIE 17]. Deux matières premières sont identifiées comme étant les meilleures pour cet usage : les rafles de maïs et les fines de lin (respectivement liants A et B sur la Figure 1).

Trois autres liants sont issus de l'industrie comme la liqueur noire (déchets du papier, liant C sur la Figure 1), la mélasse (sous-produit de l'industrie sucrière, liant D sur la Figure 1) et la lignine commerciale (sous-produit de l'industrie du bois, Biochoice® en poudre, liant E sur la Figure 1).

Le dernier liant est un thermoplastique biodégradable issu de ressources renouvelables : l'acide poly-lactique (PLA fourni par Galactic - Belgique, liant F sur la Figure 1). Ce polymère se caractérise par des propriétés mécaniques très élevées (résistance à la flexion de 17.8 MPa et résistance à la compression supérieure à 50 MPa, module d'élasticité de 3500 MPa) et une température de transition vitreuse d'environ 180°C. Le PLA est commercialisé sous forme de granules. Pour être utilisé, il est réduit en copeaux.

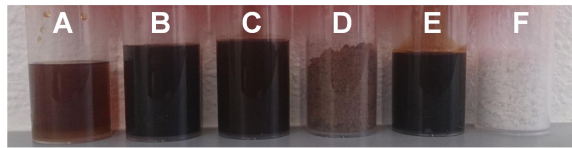


Figure 1. Les liants utilisés pour la formulation des différents composites : Extrait de rafles de maïs (A), Extrait de fines de lin (B), Liqueur noire (C), Lignine Biochoice® (D), Mélasse (E) et PLA (F)

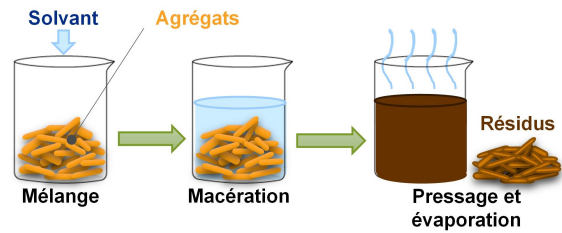


Figure 2. Le processus d'extraction des agro-ressources

2.1.2. Granulats

Deux types de granulats bio-sourcés sont considérés dans cette étude (Figure 3).

La chènevotte est un produit commercial (Biofibat - CAVAC, France) couramment utilisé pour produire du béton de chanvre. Sa masse volumique apparente est d'environ 100 à 110 kg/m³. La largeur moyenne des particules (W50) est de 2.2 mm et la longueur moyenne (L50) est de 8 mm. La largeur maximale est de 5 mm et la longueur maximale est de 19 mm.

La rafle de maïs sert de support dans l'épi aux grains de maïs. Il s'agit d'un sous-produit de la culture du maïs. Sa masse volumique apparente est d'environ 390 kg/m³. La largeur moyenne des particules est de 3.78 mm et la longueur moyenne est de 5.15 mm. La largeur maximale est de 4.77 mm et la longueur maximale de 6.47 mm. Cet agrégat est utilisé pour fabriquer un liant vert à partir de ses composés solubles dans un solvant alcalin. Les résidus de rafles de maïs obtenus sont ensuite utilisés comme granulats pour la formulation de composites. Suite à l'extraction, la masse volumique apparente des résidus d'épis de maïs est d'environ 365 kg/m³.



Figure 3. Les Granulats utilisés pour la formulation des différents composites

2.2. Formulation et production des composites

Pour cette étude, deux types de granulats et six liants sont testés. Afin d'obtenir un grand nombre d'informations, une matrice d'Hadamard est utilisé comme plan d'expérience. Douze composites sont donc fabriqués afin que chaque mélange liant (extrait de rafles de maïs, extrait de fines de lin, liqueur noire, lignine BioChoice®, mélasse ou PLA) - granulats (chènevottes ou résidus de rafles de maïs) soit testé.

Les granulats biosourcés sont humidifiés à l'aide du liant qui a préalablement été mélangé dans de l'eau. Pour assurer une bonne cohésion, l'utilisation de 15 % de liant sec est nécessaire. Trois composites sont produits à partir du même mélange. Ce mélange est donc divisé en trois parts égales (A, B et C) et chaque part est introduite dans l'une des trois alvéoles du moule. Puis, chaque alvéole est compactée 5 fois à 0.25 MPa. Le moule est ensuite placé dans un four à 190°C pendant 2 heures. Les trois composites de dimensions 100 x 100 x 100 mm³ sont démoulés une fois refroidis à température ambiante (Figure 4).

La Figure 5 montre les composites produits. Les composites mélasse/résidus de rafles de maïs et PLA/résidus de rafles de maïs n'ont pas été produits en raison de la mauvaise cohésion entre le liant et les granulats. Le Tableau 1 donne les masses volumiques apparentes des différents composites produits.

Tableau 1. Masse volumique apparente des composites en fonction de leur composition
(Extrait de rafles de maïs (A), Extrait de fines de lin (B), Liqueur noire (C), Lignine Biochoice® (D), Mélasse (E) et PLA (F))

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Granulats	Chênevottes						Résidus de rafles de maïs			
Liant	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D
ρ (kg/m ³)	177.69	179.65	191.42	179.04	187.36	272.89	519.86	556.94	526.98	457.26
σ (kg/m ³)	2.37	5.68	0.90	1.26	1.38	18.95	9.80	9.69	5.38	0.93
CoV (%)	1.33	3.43	4.44	2.80	1.95	4.01	1.67	1.19	3.61	1.21

A l'exception du composite n°6, les composites à base de chènevottes ont des masses volumiques apparentes très proches de 177 à 191 kg/m³. Le composite à base de chanvre et de PLA (n°6) a la plus forte masse volumique apparente (273 kg/m³) parmi les composites à base de chènevottes. Les composites à base de résidus de rafles de maïs ont une masse volumique apparente beaucoup plus élevée que les composites à base de chènevottes, en raison de la masse volumique apparente beaucoup plus élevée des granulats. Les trois composites, avec les extraits issus des agro-ressources et la liqueur noire, ont des masses volumiques apparentes très proches allant de 520 à 557 kg/m³. Le composite à base de la lignine a la plus faible masse volumique apparente (457 kg/m³) parmi les composites à base de résidus de rafles de maïs.

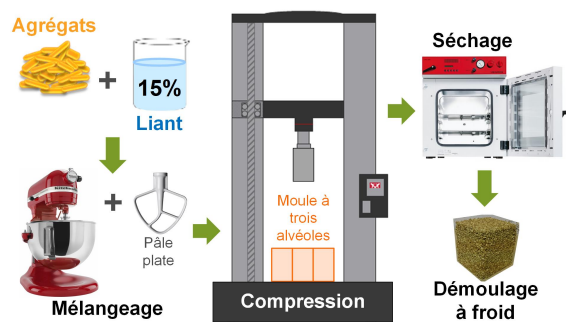


Figure 4. La production des composites

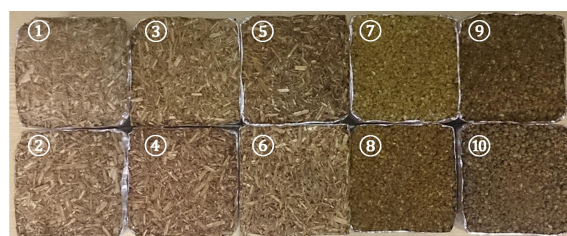


Figure 5. Les différents composites développés

2.3. Méthodes

2.3.1. Caractérisation thermique

La mesure de la conductivité thermique, après séchage des échantillons à 60°C puis leur refroidissement à température ambiante dans des dessiccateurs avec gel de silice, est réalisée à l'aide de la méthode transitoire du fil chaud dans un dessiccateur. Cette méthode est basée sur l'analyse de l'augmentation de température en fonction du temps de chauffage.

$$\Delta T = \frac{q}{4 \cdot \pi \cdot \lambda} (\ln(t) + C) \quad (1)$$

Où ΔT (°C) correspond à l'élévation de la température, q (W/m) correspond au flux de chaleur par mètre, λ (W.m⁻¹.K⁻¹) correspond à la conductivité thermique, t (s) correspond au temps de chauffage et C est une constante incluant la diffusivité thermique du matériau.

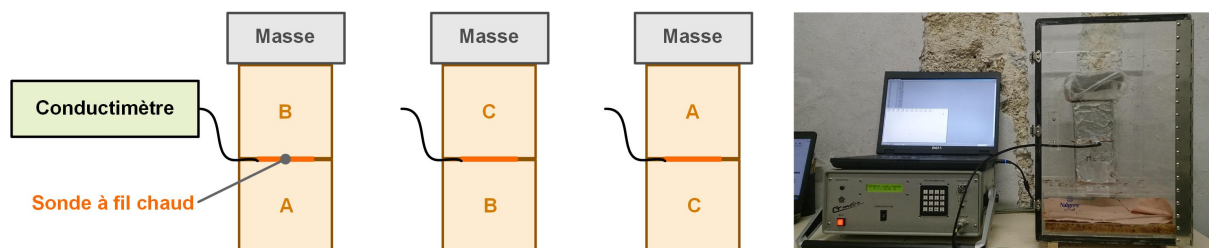


Figure 6. Mesure de la conductivité thermique

La mesure est effectuée lorsque le capteur est pris en sandwich entre deux échantillons. Pour assurer un bon contact (afin d'éviter la présence d'une lame d'air), une masse est posée sur l'échantillon du haut. Le flux de

chaleur et le temps de chauffage sont choisis afin d'atteindre une élévation de température suffisamment importante ($> 10^{\circ}\text{C}$) et un coefficient de corrélation élevé (R^2) entre les données expérimentales et la courbe d'ajustement. Dans cette étude, le dispositif commercial CT-Mètre est équipé d'un fil chaud de cinq centimètres de long. La puissance utilisée est de 142 mW (n°1 à 4) ou de 205 mW (n°5 à 10) et le temps de chauffage est de 120 secondes. Ces réglages permettent de répondre aux exigences précédentes (augmentation de température supérieure à 10°C et valeur R^2 élevée). Selon le constructeur, la précision attendue est donc supérieure à 5 %. Pour chaque formulation, trois paires d'échantillons sont considérées en les combinant différemment (A & B, C & B et A & C, Figure 6). La conductivité thermique d'une paire d'échantillons est la moyenne de trois mesures avec un coefficient de variation (rapport de l'écart type à la valeur moyenne) inférieur à 5 %. La conductivité thermique d'une formulation est la moyenne des neuf mesures réalisées sur l'ensemble des paires d'échantillons.

2.3.2. Caractérisation hygrique

La caractérisation hygrique est basée sur la mesure de la valeur tampon hygrique (Moisture Buffer Value - MBV) des matériaux, qui caractérise leur capacité à modérer les variations d'humidité relative intérieure dans les bâtiments. Cette valeur est mesurée selon le protocole Nordtest [ROD 05]. Les échantillons sont étanchés sur toutes les surfaces sauf une. Après leur stabilisation à 23°C , 50 %HR, les échantillons sont exposés à une variation cyclique quotidienne de l'humidité relative ambiante (8 heures à 75 %RH et 16 heures à 33 %RH) dans une armoire climatique (Vötsch VC4060, Figure 7). Le MBV est ensuite calculé à partir de leur absorption d'humidité ainsi que leur désorption suivant l'équation suivante :

$$MBV = \frac{\Delta m}{RH_{haut} - RH_{bas}} \quad (2)$$

Avec le MBV ($\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \% \text{HR})$) qui correspond à la valeur du tampon d'humidité, Δm (g) qui correspond à l'absorption/la désorption de l'humidité lors du cycle, A (m^2) qui correspond à la surface ouverte et $RH_{haut/bas}$ (%) qui correspond à l'humidité relative haute ou basse.

La température et l'humidité relative sont mesurées en continu à l'aide d'un capteur SHT75 ainsi que le capteur de la chambre climatique. Le capteur SHT 75 est étalonné à 23°C avec du gel de silice (point zéro) et des solutions de sels saturés à 22.75, 32.90, 43.16, 58.20, 75.36, 81.20 et 97.42 %HR. L'humidité relative est ensuite corrigée à l'aide de l'équation suivante :

$$RH_{cor} = 0.0043.RH_{SHT75}^2 + 0.6096.RH_{SHT75} + 3.3458 \quad (3)$$

La vitesse d'air au voisinage des échantillons varie de 0.1 à 0.4 m/s pour la vitesse horizontale et est inférieure à 0.15 m/s pour la vitesse verticale. Les échantillons sont pesés hors de la chambre climatique cinq fois pendant la période d'absorption et deux fois pendant celle de désorption. La précision de lecture de la balance est de 0.01 g et sa linéarité est de 0.01 g. La précision de la valeur tampon hygrique est donc d'environ 5 %. Pour chaque formulation, le MBV est mesuré sur trois échantillons. Le MBV de la formulation est donc la valeur moyenne de ces trois mesures.

3. Résultats

3.1. Caractérisation thermique

Pour valider la pertinence de la méthode de mesure de la conductivité thermique, une photo de thermographie infrarouge est prise pour chaque échantillon immédiatement après la mesure. Pour tous les échantillons, l'empreinte thermique due au flux de chaleur généré par la sonde est visible sur la surface de l'échantillon, comme montré à titre d'exemples sur la Figure 8 pour les formulations n°5 (gauche) et n°8 (droite) pour lesquelles la puissance de chauffage est respectivement de 142 mW et 205 mW. L'empreinte thermique montre que ① : le flux de chaleur est resté dans l'échantillon au cours de l'essai et que ② : le volume sondé est représentatif du matériau. Ainsi, les mesures sont validées.

Le Tableau 2 rassemble la valeur moyenne, l'écart-type et le coefficient de variation de la conductivité thermique des composites étudiés. La Figure 9 permet de visualiser la conductivité moyenne en fonction de la masse volumique apparente des différents composites. Pour tous les tests, le coefficient de corrélation entre les données expérimentales et la courbe d'ajustement est supérieur à 0.9996. De plus, pour chaque composite, les valeurs expérimentales sont très proches les unes des autres. Le coefficient de variation est inférieur à 4 % entre les neuf mesures (trois paires d'échantillons et trois mesures par paire). Ce qui induit une grande confiance dans les valeurs de conductivité thermique.



Figure 7. Dispositif expérimental pour la mesure de la valeur tampon hygrique

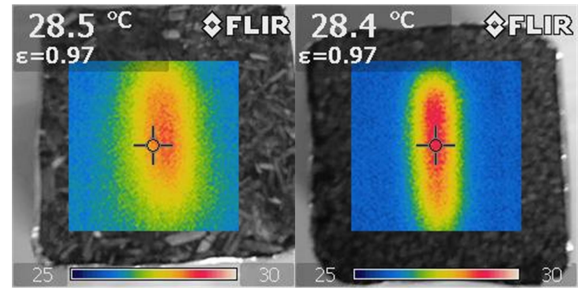


Figure 8. Photos de thermographie infrarouge des échantillons n°5 (à gauche) et n°8 (à droite) immédiatement après la mesure de la conductivité thermique

Tableau 2. La conductivité thermique des composites

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
λ (mW.m ⁻¹ .K ⁻¹)	70.8	70.2	71.1	67.5	70.4	78.6	140.3	147.9	136.5	128.4
σ (mW.m ⁻¹ .K ⁻¹)	0.9	1.2	1.5	1.3	0.8	1.7	4.1	4.7	4.8	4.7
CoV (%)	1.22	1.75	2.05	1.88	1.18	2.18	2.92	3.2	3.55	3.66

Les conductivités thermiques des composites développés, à l'état sec, sont comprises entre 67.5 et 147.9 mW.m⁻¹.K⁻¹ tandis que celles des agro-ressources sont de 53.5 mW.m⁻¹.K⁻¹ pour les chènevottes et de 85.1 mW.m⁻¹.K⁻¹ pour les résidus de rafles de maïs. Les composites fabriqués à partir des chènevottes ont les conductivités thermiques les plus faibles (entre 67.5 et 78.6 mW.m⁻¹.K⁻¹). Le composite réalisé avec du PLA a une conductivité thermique légèrement plus élevée que les autres fabriqués avec des chènevottes. Les composites obtenus à partir des résidus de rafles de maïs en tant que granulats ont des conductivités thermiques les plus élevées (entre 128.4 et 147.9 mW.m⁻¹.K⁻¹). Le composite avec la lignine BioChoice® a une conductivité thermique légèrement inférieure à celle des autres composites réalisés avec des résidus de rafles de maïs. Comme montré sur la Figure 9, la conductivité thermique des composites augmente linéairement avec la masse volumique apparente. Le coefficient de corrélation de la courbe d'ajustement est très proche de 1. La pente de la droite de régression pour les composites (courbe jaune) est plus importante que la pente de la droite de régression pour les granulats (courbe verte). Ainsi, la conductivité thermique augmente plus rapidement avec la masse volumique apparente dans le cas des composites.

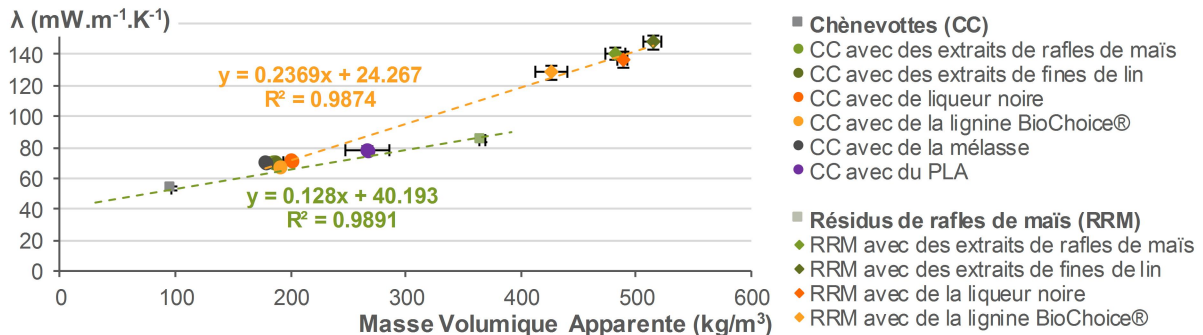


Figure 9. La conductivité thermique des composites et des granulats versus leur masse volumique apparente à l'état sec

3.2. Caractérisation hygrique

La Figure 10 montre l'évolution de l'humidité relative ainsi que de la température ambiante dans la chambre climatique pendant l'essai MBV. La valeur moyenne de l'humidité relative est légèrement inférieure à 75 % pendant l'absorption (environ 71.4 %) et légèrement supérieure à 33 % pendant la désorption (environ 35.5 %) car la porte de la chambre climatique est régulièrement ouverte afin de peser les échantillons. A titre d'exemple, la Figure 11 donne l'absorption ainsi que la désorption d'humidité de l'échantillon n° 1-A lors du test MBV. Pour tous les composites, la variation de masse est inférieure à 5 % entre deux cycles pour les cycles allant de 3 à 5. La valeur tampon hygrique est donc calculée à partir des cycles 3 à 5.

Les Figures 12 et 13 résument les valeurs MBV obtenues en absorption, en désorption ainsi qu'en moyenne. Les écarts-types sont faibles, conduisant à des coefficients de variation inférieurs à 4,5 %. La plage du MBV moyen va de 1.86 à 5.08 g/(m².%HR). Selon la classification Nordtest [Rode 2005], seul le composite n°6 est un bon régulateur hygrique (1 < MBV < 2 g/(m².%HR)). Les autres composites sont tous d'excellents régulateurs hygriques (MBV > 2 g/(m².%HR)).

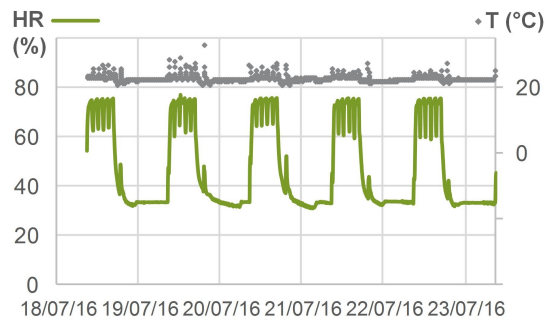


Figure 10. Contrôle de l'humidité relative ainsi que de la température dans la chambre climatique lors du test MBV

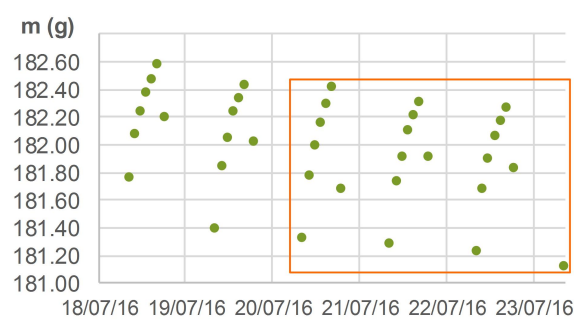


Figure 11. Absorption et désorption d'humidité pour l'échantillon n°1-A

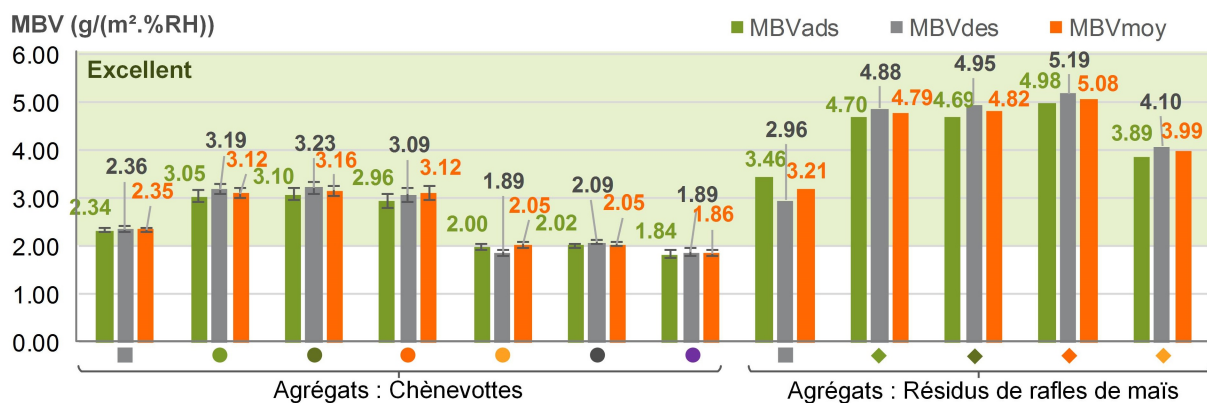


Figure 12. Valeurs MBV d'absorption, de désorption et moyenne des différents composites fabriqués

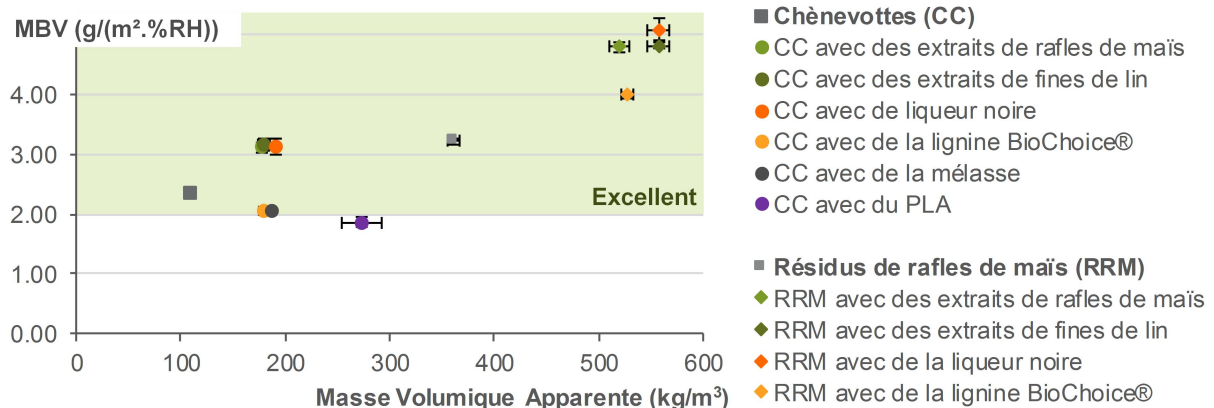


Figure 13. Valeur MBV (g/(m².%HR)) moyenne des composites fabriqués versus leur masse volumique apparente

Pour un même liant, les composites fabriqués avec des résidus de rafles de maïs ont un meilleur MBV que les composites fabriqués avec des chènevottes. Ce résultat est cohérent avec les résultats préalablement obtenus dans le cas du vrac. En effet, les résidus de rafles de maïs ont également un meilleur MBV que les chènevottes dans le cas où la matière première est en vrac. Les liants extraits des rafles de maïs et des fines de lin ainsi que la liqueur noire conduisent aux valeurs MBV des composites les plus fortes pour les 2 types de granulat. En outre, ces valeurs sont plus élevées que dans le cas des granulats en vrac (composites à base de chanvre ~3.14 g/(m².%HR) vs 2.35 g/(m².%HR) pour les granulats et composites à base de résidus de rafles de maïs ~4.90 g/(m².%HR) vs 3.21

g/(m².%HR) pour les granulats). L'utilisation de la lignine Biochoice® conduit à des valeurs MBV des composites plus faibles que lors de l'utilisation des liants précédents. En effet dans le cas des résidus de rafles de maïs, la valeur MBV des composites est de 3.99 g/(m².%HR) et est supérieure à celles de l'agrégat en vrac (3.21 g/(m².%HR)). Alors que dans le cas des chènevottes, la valeur MBV des composites est de 2.05 g/(m².%HR) et est inférieure à celle de l'agrégat en vrac (2.35 g/(m².%HR)). La mélasse conduit à un résultat comparable. Enfin, le composite PLA/chanvre a le MBV le plus bas : 1.86 g/(m².%HR) et est inférieur à celui des chènevottes en vrac (2.35 g/(m².%HR)). La diminution de la capacité tampon hygrique de l'agro-ressource en vrac suite à sa transformation en composite est dû au choix du liant qui dans ces cas précis vient boucher les porosités des chènevottes. Ainsi, le MBV est essentiellement fonction du type d'agrégat ainsi que de son interaction avec le liant.

4. Conclusions

Cette étude montre qu'il est possible de produire des composites entièrement biosourcés. En effet, utiliser ces mélanges de liants et de granulats est très intéressant du point de vue environnemental car l'agriculture locale est prioritaire. Ici, les sous-produits de l'agriculture et de l'industrie sont utilisés pour la production de liants verts et aucun additif n'est ajouté.

La masse volumique apparente des composites développés varie de 177 à 273 kg/m³ lors de l'utilisation des chènevottes comme granulats et varie de 457 à 557 kg/m³ dans le cas des résidus de rafles de maïs. La conductivité thermique varie de 67.5 à 147.9 mW.m⁻¹.K⁻¹. Elle dépend principalement de la masse volumique apparente. Ainsi, les composites fabriqués avec les chènevottes ont une conductivité thermique plus faible que ceux fabriqués avec les résidus de rafles de maïs. Afin d'améliorer la conductivité thermique, il est envisageable de chercher à diminuer la masse volumique apparente des composites en diminuant la pression de compactage lors de la phase de compression. Les composites sont tous d'excellents régulateurs hygriques (MBV > 2 g/(m².%HR)) sauf le composite réalisé avec du PLA, qui est toutefois un bon régulateur hygrique. Pour un même liant, les composites fabriqués avec des résidus de rafles de maïs ont un meilleur MBV que les composites fabriqués avec des chènevottes. De plus, l'utilisation de liant comme les extraits des résidus de rafles de maïs, les extraits des fines de lin ou encore la liqueur noire conduit à une valeur MBV des composites développés supérieure à celle des agro-ressources en vrac.

D'autres recherches sont encore nécessaires pour qualifier la durabilité et la résistance au feu de ces composites ainsi que pour étudier d'autres propriétés telles que les performances mécaniques. En effet, les propriétés mécaniques sont essentielles sur plusieurs points de vue: manipulation, découpe et résistance au cours de l'utilisation de tels composites qui ne présentent de toute façon pas de caractère porteur.

Remerciements

Ce projet a reçu un financement du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union européenne en vertu de la convention de subvention n°636835 - L'auteur souhaite les remercier. La CAVAC, partenaire industriel du projet ISOBIO, est remerciée par l'auteur pour la fourniture des matières premières. Merci également à Tony Hautecoeur.

Bibliographie

- [COL 17] COLLET F., PRÉTOT S., LANOS C., "Hemp-Straw Composites: Thermal And Hygric Performances", *Energy Procedia*, vol. 139, p. 294–300, 2017.
- [GLA 87] GLASSCO R. B., NOBLE R. L., "Modular building construction and method of building assembly", mai 1987, International Classification E04B1/12, E04C2/16; Cooperative Classification E04C2/16; European Classification E04C2/16.
- [ROD 05] RODE C., PEUHKURI R. H., MORTENSEN L. H., HANSEN K. K., TIME B., GUSTAVSEN A., OJANEN T., AHO-NEN J., SVENNBERG K., ARFVIDSSON J., OTHERS, Moisture buffering of building materials, rapport, Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering, 2005.
- [SUN 00] SUN R. C., TOMKINSON J., *Essential guides for isolation/purification of polysaccharides*, Academic Press: Lond, 2000.
- [VIE 17] VIEL M., COLLET F., LANOS C., "Chemical and hygrothermal characterization of agro-resources's by-product as a possible raw building material", Clermont-Ferrand, France, juin 2017.