

Optimisation des propriétés d'usage, de la durabilité et de la qualité environnementale d'un isolant biosourcé pour le bâtiment

Myriam Goutière

Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions (LMDC), Université de Toulouse, INSA, UPS, France

RESUME La moelle de tournesol est une ressource très répandue dans le Sud-Ouest de la France. Ses propriétés la distinguent d'autres particules végétales, notamment sa structure alvéolaire et sa porosité particulière très élevée qui lui confèrent un fort potentiel d'isolation thermique, en vrac ou agglomérée en panneaux.

L'influence des procédés de transformation et de purification des tiges de tournesol sur les propriétés d'usage des panneaux isolants est étudiée via l'utilisation de 4 moelles présentant différents taux de pureté et de granulométrie. L'étude est menée sur des fractions de moelle modèles dont la pureté est altérée en ajoutant de l'écorce de tournesol, permettant d'obtenir des masses volumiques en vrac de 40 à 60 kg/m³ au lieu des 22 kg/m³ de la moelle pure. La granulométrie est également contrôlée pour fournir une moelle plus grossière et une moelle fine, de masses volumiques variant de 18 à 25 kg/m³. Cette granulométrie influe peu sur la conductivité thermique contrairement à la présence d'écorce. Les résultats thermiques restent très satisfaisants pour ce type de matériaux (39 à 49 mW/(m.K)). Les performances mécaniques des panneaux contenant de l'écorce ainsi que des grosses particules de moelle sont inférieures à celles des panneaux utilisant la moelle pure de référence ou les petites particules.

Mots-clefs Moelle de tournesol, écorce, isolation, propriétés d'usage, durabilité

I. INTRODUCTION

En France, le secteur du bâtiment représente 45% de la consommation d'énergie et près de 27% des émissions de CO₂ (Ministère de la Transition écologique, 2024). Pour réduire l'impact de ce secteur sur l'environnement, l'utilisation de matériaux biosourcés dans la construction est en plein essor. La première étape essentielle pour réduire la consommation d'énergie est d'isoler thermiquement les bâtiments. L'approche conventionnelle consiste à utiliser des matériaux minéraux ou à base de pétrole tels que la laine de verre ou le polystyrène. Cependant, ces

matériaux à base de pétrole, une matière première non renouvelable, conduisent à l'émission de gaz à effet de serre (GES) et consomment beaucoup d'énergie lors de leur production, et leur fin de vie peut causer des problèmes environnementaux car leur recyclage peut être difficile (Korjenic et al., 2016; Marten and Hicks, 2018). En France, une nouvelle Réglementation Environnementale (RE2020) (Ministère de la Transition écologique and Cerema, 2022) vise à réduire l'impact environnemental du secteur du bâtiment, notamment durant la phase de construction. Cet impact est calculé sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment et non uniquement pendant son utilisation. La RE2020 encourage entre autres à l'utilisation de matériaux biosourcés, qui sont des matières premières renouvelables, locales et peu transformées, et qui permettent un stockage temporaire du carbone grâce à sa séquestration par photosynthèse au cours de la croissance de la plante. Plusieurs auteurs ont souligné l'intérêt d'utiliser ces matériaux biosourcés comme matériaux isolants, comme (Amziane et al., 2017; Avellaneda et al., 2023; Bacoup et al., 2019; Laborel-Préneron et al., 2021; Mati-Baouche et al., 2015). Non seulement ils présentent de bonnes propriétés thermiques, mais ils permettent également aux agriculteurs d'avoir un revenu supplémentaire puisque ces matériaux ne sont actuellement pas valorisés. Ce qui était autrefois considéré comme des déchets agricoles est aujourd'hui de plus en plus considéré comme des co-produits valorisables. Pour mettre les choses en perspective, environ 870 millions d'hectares de tournesol ont été récoltés en France en 2022 (Agreste Ministère de l'Agriculture, 2023a), contre seulement 19,3 millions d'hectares de chanvre (Agreste Ministère de l'Agriculture, 2023b), qui est actuellement le sous-produit agricole le plus étudié pour les applications de matériaux de construction (Ratsimbazafy, 2021). En 2022, le rendement est de 62 q/ha, en baisse, pour le chanvre (textile et industriel) et de 20,7 q/ha, en augmentation de 25% en 2023, pour le tournesol. L'objectif de ce travail est de caractériser les propriétés d'usage du matériau de référence (moelle pure) telles que la conductivité thermique et les propriétés hygromécaniques et d'estimer l'impact du procédé de transformation sur les propriétés d'usage. La conductivité thermique attendue sur ce type de matériaux biosourcés est comparable à celle des isolants conventionnels (Chabannes et al., 2015; Lenormand et al., 2017; Novi et al., 2024), inférieure à 0,05 W/(m.K). En effet, l'impact environnemental de ces granulats biosourcés dépend de leur niveau de transformation et de la complexité de ce dernier. Afin de réduire au maximum cet impact, un compromis doit être trouvé entre propriétés d'usage et procédé de transformation minimal et peu énergivore.

L'article présente la méthodologie de fabrication, composition et caractérisation des différentes fractions de moelle, puis le processus de fabrication de panneaux à base de moelle de tournesol ainsi que les résultats de l'influence du procédé de transformation sur les propriétés thermomécaniques des panneaux.

II. METHODES

Des travaux antérieurs ayant déjà étudié ce type de matériaux, les protocoles utilisés pour la caractérisation des granulats proviennent de travaux de recherche (Ratsimbazafy, 2021) ou de recommandations issues des travaux du TC RILEM 236-BBM (Amziane et al., 2017). La conductivité thermique des panneaux est mesurée grâce à la méthode de la plaque chaude gardée via le Lambdamètre EP500 de Meßtechnik. Des essais mécaniques ont également été réalisés sur

les panneaux. Les essais de flexion trois points ont été réalisés sur quatre échantillons de chaque formulation à une vitesse constante de 10 mm/min, conforme aux méthodes de la norme NF EN 12089. Le calcul du module d'élasticité E [MPa] est réalisé selon la norme BS EN 310. L'essai de compression a été réalisé sur six éprouvettes de chaque formulation. Conformément à la norme NF EN 826, une vitesse de compression de 0,1 d/min (avec d la hauteur de l'échantillon [mm]) a été appliquée.

III. COMPOSITION ET CARACTERISATION DES DIFFERENTES FRACTIONS DE MOELLE

Les granulats sont fournis par la filiale R&D des coopératives agricoles Maïsadour et Vivadour nommée *Ovalie Innovation* et viennent du Sud-Ouest de la France. La tige de tournesol (Fig. 1) est tout d'abord séchée après avoir été collectée. Elle fait ensuite l'objet d'une transformation qui vise à fractionner cette tige par broyage, puis à séparer les particules les plus légères de moelle des particules plus lourdes d'écorce (Fig. 2).

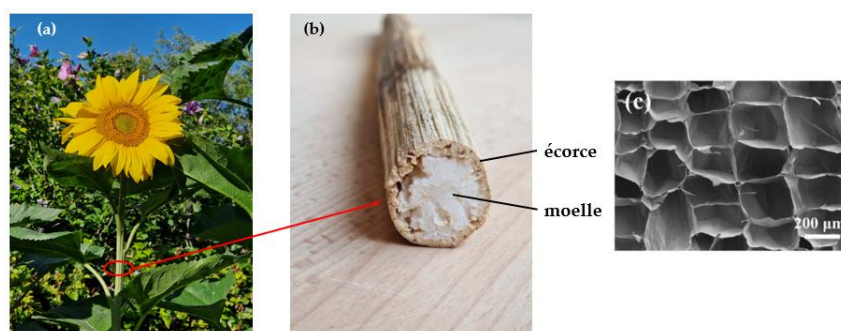


FIGURE 1. Plante de tournesol (a), tige (b), moelle vue au MEB (Zhang et al., 2022) (c).



FIGURE 2. Granulats en vrac : moelle de tournesol (de référence) (a), écorce pure (b) moelle très impure (MTI) (c).

Afin d'évaluer l'influence des procédés de transformation sur les propriétés des panneaux isolants, plusieurs moelles de différentes puretés et granulométries sont utilisées. Les principaux résultats de la caractérisation physique des granulats sont présentés dans le Tab. 1. Deux moelles de pureté moindre ont été créées en ajoutant de l'écorce tamisée à 4 mm à la moelle pure, appelée « moelle de référence » : la moelle impure (MI) et la moelle très impure (MTI). MI est composée en masse de 50% d'écorce pure et 50% de moelle de référence, et MTI de 70% d'écorce et 30% de moelle. Deux niveaux de granulométrie ont également été créés par tamisage à 6,3 mm : les particules grossières (H50) et les particules plus petites (L50). Le but est de recréer plusieurs

moelles qui pourraient être produites à moindre coût financier et environnemental puisque moins d'étapes de transformation (comme la purification) seraient nécessaires.

TABEAU 1. Caractéristiques des granulats étudiés.

	Moelle de référence	Moelle impure (MI)	Moelle très impure (MTI)	H50	L50	Ecorce pure
$\rho_{\text{vrac SEC}}$ [kg/m ³]	18,1 ± 0,7	36,2 ± 1,8	47,6 ± 2,1	16,4 ± 0,3	21,7 ± 0,6	125,2 ± 3,9
$\rho_{\text{vrac}}^{\text{ambiant}}$ [kg/m ³]	22,0 ± 0,6	42,2 ± 2,0	59,1 ± 2,9	18,6 ± 0,4	25,4 ± 1,1	143,4 ± 4,4
$\rho_{\text{particule}}$ [kg/m ³]	46,0 ± 1,2	101,0 ± 4,1	128,2 ± 6,4	42,1 ± 1,1	57,0 ± 2,8	410 ± 13,4

avec ρ_{vrac} la masse volumique apparente en vrac ; $\rho_{\text{particule}}$ la masse volumique apparente des particules à sec.

On observe que les particules de moelle de tournesol ont une masse volumique en vrac très faible, de l'ordre d'une vingtaine de kg/m³. L'ajout d'écorce, qui, pure, a une masse volumique en vrac environ 7 fois plus élevée, augmente significativement ρ_{vrac} de MI et MTI. La masse volumique en vrac de la moelle impure (MI), ayant 50% en masse d'écorce, double environ et ρ_{vrac} de la moelle très impure (MTI), avec 70% en masse d'écorce, est multipliée environ par 2,7. Les plus grosses particules de moelle (H50) présentent une masse volumique en vrac légèrement plus faible que la référence alors que la masse volumique particulaire de L50 est plus élevée que celle de la moelle de référence. Cela peut être expliqué par une présence importante de très petites particules qui auraient pu être écartées lors de l'échantillonnage de la moelle de référence.

L'étude de la morphologie des granulats via une analyse d'images et le logiciel *ImageJ* permet d'étudier la circularité et la granulométrie des différents granulats. Ces résultats sont présentés dans les Fig. 3 et 4.

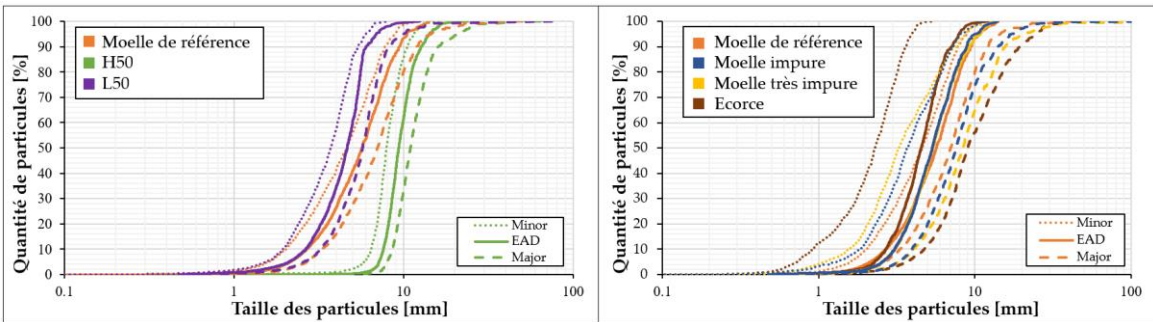


FIGURE 3. Granulométrie des granulats étudiés.

Les particules de moelle de tournesol seules présentent un fuseau entre l'axe majeur et l'axe mineur resserré autour du EAD (Diamètre équivalent Surface) contrairement aux particules d'écorce qui sont, elles, plus allongées et présentent un fuseau plus large (Fig. 3). La moelle de référence possède un D50 autour de 6 mm. Cette donnée permet de justifier le choix de tamiser la moelle de référence à 6,3 mm afin d'obtenir ces deux fractions de granulométries variées.

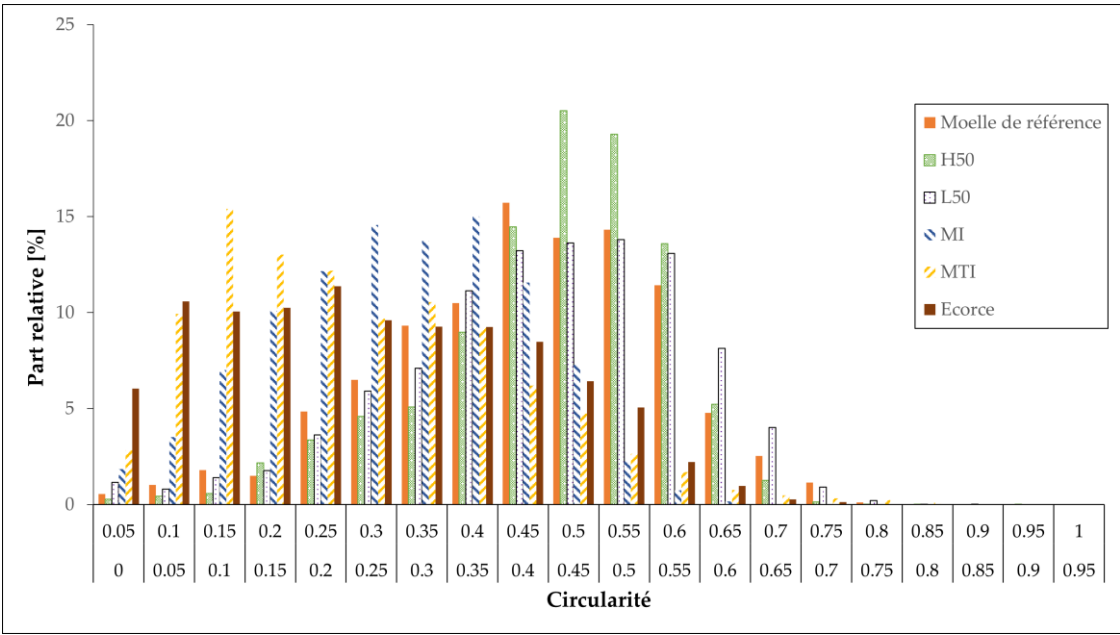


FIGURE 4. Circularité des granulats étudiés.

Plus les valeurs de circularité se rapprochent de 1, plus la particule est sphérique. Les particules de moelle de référence ont une circularité plus élevée que les mélanges contenant des particules d'écorce, qui ont également une circularité plus élevée que celle de l'écorce pure (Fig. 4). Le réarrangement dépendant entre autres de la circularité des granulats, il est intéressant de connaître cette donnée.

IV. FORMULATION ET FABRICATION DES PANNEAUX ISOLANTS 100% BIOSOURCES

Deux types de panneaux sont fabriqués pour chaque type de granulats : des panneaux avec ajout de liant externe et des panneaux sans ajout de liant externe. Les formulations sont précisées dans le Tab. 2. Le liant utilisé est un liant à base d'amidon du commerce. Les granulats sont stockés à l'ambiance et leur humidité est d'environ 10%.

Lors d'une fabrication avec ajout de liant externe (dosage massique liant/eau = 7,5%), la poudre est d'abord dissoute par agitation manuelle dans de l'eau du robinet à température ambiante (20°C) puis le tout est mélangé à la main aux particules avant d'être versé dans le moule. Lors d'une fabrication sans ajout de liant externe (Fig. 5), les particules sont immergées dans l'eau du robinet à température ambiante dans un filet perméable, puis le filet est secoué vigoureusement 50 fois. Les particules imbibées d'eau sont ensuite transférées dans le moule à la main et homogénéisées. Quelle que soit la formulation, avec ou sans liant (SL), le tout est ensuite placé sous la presse pour une dizaine de minutes. En sortie de presse, les panneaux avec et sans liant sont immédiatement démoulés.



FIGURE 5. Procédé de fabrication d'un panneau à base de moelle de tournesol.

Le moule a pour dimension 20 cm x 20 cm. L'utilisation d'un piston permet d'obtenir une hauteur finale égale à 6 cm et ainsi la fabrication de panneaux de 2400 cm³ en sortie de moule. Les panneaux avec liant ayant un volume final de 2365 ± 22 cm³ présentent un retrait volumique assez faible d'environ 1,5%. En revanche, les panneaux sans liant de volume final 1937 ± 85 cm³ présentent un retrait volumique significatif d'environ 19,3%. Les masses volumiques des panneaux de moelle séchés à l'étuve à 60°C jusqu'à stabilisation de la masse (variation <0,1% entre deux pesées consécutives à 24h d'intervalle) et mesurés au pied à coulisse, sont présentées dans le Tab. 2.

TABLEAU 2. Formulation et masses volumiques des panneaux isolants à base de moelle de tournesol à sec [kg/m³], avec et sans liant (SL).

	Dosage massique liant/eau	Dosage massique liant/moelle	Moelle de référence	Moelle impure (MI)	Moelle très impure (MTI)	H50	L50
A-10-2 (avec liant)	7,5 %	10 %	44,6 ± 0,7	84,4 ± 0,5	114,6 ± 2,5	37,7 ± 0,6	50,5 ± 1,0
Sans Liant	0	0	45,2 ± 1,8	68,1 ± 1,7	91,7 ± 1,3	30,6 ± 0,1	46,7 ± 0,5

Les masses volumiques des panneaux MI et MTI sont plus élevées que celles avec moelle de référence, ce qui est en accord avec les masses volumiques apparentes des particules. Les masses volumiques des panneaux avec H50 sont plus faibles et celles avec L50 sont plus élevées, ce qui est également corrélé aux masses volumiques apparentes des particules (Tab. 1).

Il est intéressant de comparer la masse volumique des panneaux à celle d'isolants de référence : elle est similaire à celle du polystyrène (PS) (22,6 ± 0,6 kg/m³) et plus faible que celle de panneaux de fibres de bois (FdB) (194,4 ± 3,9 kg/m³). Les matériaux de référence proviennent du commerce et ont les références suivantes : Expanded Polystyrene de Knauf Therm Sol NC Th35 en 60 mm et Fibre de Bois Pavawall-GF en 60 mm.

V. INFLUENCE DES PROCEDES DE TRANSFORMATION DE LA MOELLE

A. La conductivité thermique

La conductivité thermique des panneaux est représentée sur la Fig. 6. Les panneaux ont été testés quelques semaines après la fin de leur séchage.

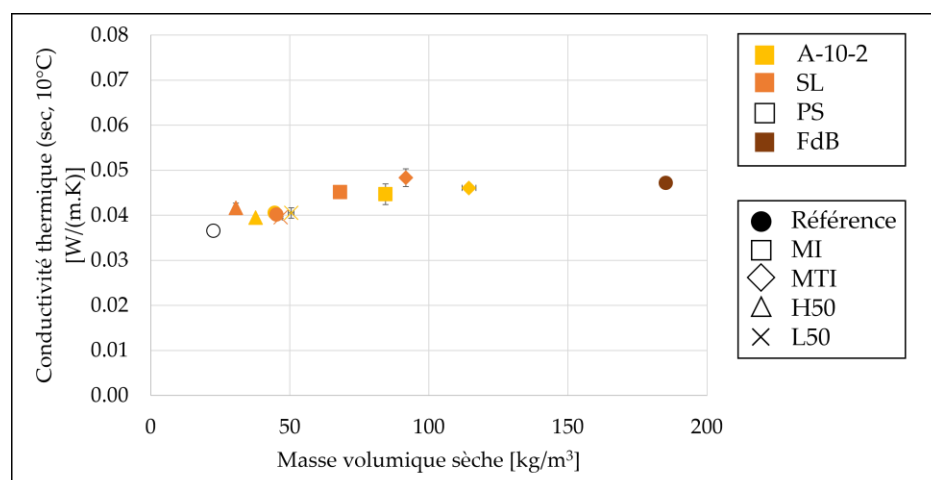


FIGURE 6. Conductivité thermique en fonction de la masse volumique des panneaux.

La conductivité thermique des panneaux sans écorce se situe autour de 39 à 42 mW/(m.K) (Fig. 6). Les résultats indiquent qu'il n'y a pas ou peu d'effet de la présence de liant ni de la taille des particules sur la conductivité thermique des panneaux. Cependant, la présence d'écorce augmente la masse volumique ainsi que la conductivité thermique, qui atteint 44 à 49 mW/(m.K) pour des masses volumiques de 68 à 115 kg/m³. Ces résultats montrent que les panneaux avec présence d'écorce présentent une conductivité thermique seulement 10% plus élevée que les panneaux avec la moelle de référence, et 30% plus élevée que la référence PS, mais plus faible ou équivalente à la fibre de bois (47 ± 1 mW/(m.K)), ce qui les place dans la même gamme que les isolants conventionnels.

B. Le comportement mécanique

Les essais sont réalisés quelques semaines après la fin du séchage puis de la stabilisation à l'ambiance des panneaux et après que les matériaux ont passé au minimum 6h à 23°C et 50%HR.

Les résultats des essais de flexion et de compression sont représentés respectivement sur les Fig. 7 et Fig. 9. La Fig. 8 présente la courbe contrainte-déformation des essais de compression afin de justifier les mesures à 3,5% de déformation.

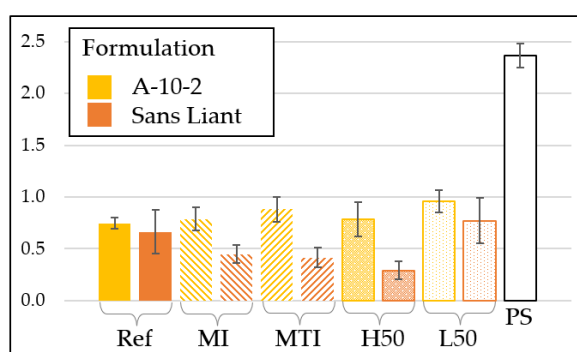


FIGURE 7. Module d'élasticité en flexion [MPa].

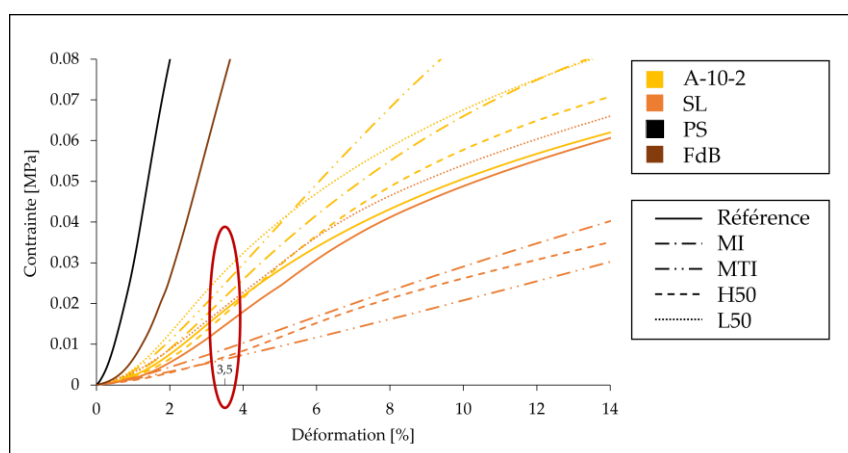


FIGURE 8. Courbes Contrainte-Déformation des essais en compression sur les différents matériaux.

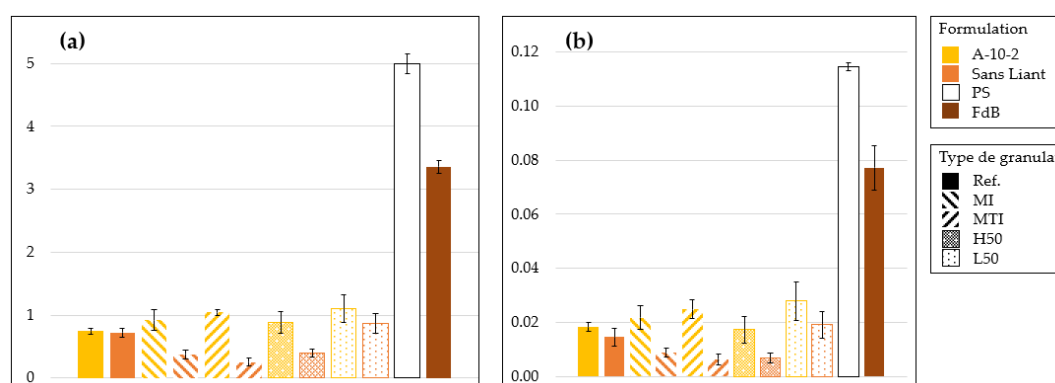


FIGURE 9. (a) Module d'élasticité en compression [MPa] et (b) Résistance à la compression à 3,5% de déformation relative $\sigma_{3,5}$ [MPa].

La Fig. 7 présente le module d'élasticité en flexion [MPa] des panneaux de moelle de tournesol avec différents taux de granulométrie et de pureté ainsi que du polystyrène. Les performances des panneaux avec liant sont peu impactées par l'ajout d'impuretés, voire ont des modules de flexion qui augmentent grâce à ces ajouts de particules allongées. La finesse des particules améliore également le module de flexion, ce qui peut s'expliquer par une plus grande surface spécifique, augmentant ainsi les surfaces de contact entre les particules et le liant. Les panneaux sans liant en revanche sont influencés de manière différente par la pureté et la granulométrie. L'ajout d'écorce diminue le module d'élasticité, de même qu'une taille de particule plus grande. On peut supposer que l'adhésion entre elles des particules d'un panneau sans liant est due à un composé déjà présent dans les particules de moelle qui est solubilisé par l'eau. En remplaçant une partie de la moelle par l'écorce, une plus faible quantité de ce composé pourrait être solubilisée et cela pourrait expliquer la diminution de module. Cette même raison pourrait expliquer la diminution pour H50 : les particules étant plus grosses, l'eau pourrait ne pas avoir le temps de pénétrer à cœur des particules. Les panneaux de fibre de bois, très denses, présentent un module supérieur, de $10,5 \pm 1,2$ MPa, ce qui le place largement au-dessus des isolants très légers.

La Fig. 8 présente la courbe de comportement mécanique contrainte-déformation des essais de compression. La valeur de 3,5% utilisée pour la résistance en compression est une moyenne et a été calculée en déterminant la pente maximale de chaque essai tout en restant dans la partie élastique de la courbe contrainte-déformation.

La Fig. 9 (a) présente le module d'élasticité en compression [MPa] des panneaux de moelle de tournesol ainsi que des panneaux de référence en polystyrène et fibres de bois et la Fig. 9 (b) présente la résistance à la compression à 3,5% de déformation relative $\sigma_{3,5}$ [MPa]. La tendance est la même que pour les résultats de l'essai de flexion. Pour les panneaux à base de moelle de tournesol avec ajout de liant externe, la présence d'écorce semble être bénéfique. Cela peut s'expliquer par la forme et la rigidité des particules d'écorce qui confèrent de meilleures propriétés mécaniques aux panneaux. Les performances en compression sont une nouvelle fois bien plus faibles que celles des isolants conventionnels (PS et FdB).

VI. CONCLUSION

La moelle de tournesol est une ressource locale, abondante, disponible, renouvelable et elle stocke du carbone lors de sa croissance. La réglementation environnementale RE2020 insiste sur l'isolation thermique des bâtiments et incite à l'utilisation d'isolants thermiques biosourcés afin de réduire l'impact environnemental du bâti. La fabrication de panneaux isolants thermiques 100% biosourcés à base de moelle de tournesol pourrait être une des solutions afin d'isoler le bâti tout en évitant l'utilisation de produits pétrosourcés. Les résultats de cette campagne d'essais montrent que les panneaux présentent de très bons résultats thermiques, de l'ordre de 40 mW/(m.K) avec la moelle de référence. Le processus de transformation de la tige de tournesol pourrait être optimisé afin de réduire les coûts financiers et environnementaux tout en n'augmentant que de peu la conductivité thermique (<50 mW/(m.K)), ce qui reste plus faible que la conductivité des panneaux de fibres de bois pour les panneaux avec la moelle impure (MI). Les propriétés mécaniques des panneaux à base de moelle de tournesol avec liant et avec ajout d'écorce sont mêmes supérieures aux propriétés mécaniques avec la moelle de référence. Les panneaux sans ajout de liant ont des propriétés mécaniques comparables avec la moelle de référence mais moindres lors d'ajout d'écorce et lors d'utilisation des grosses particules H50.

VII. PERSPECTIVES

La formulation, les procédés de transformation de la matière ainsi que la durabilité de ces panneaux isolants vont largement impacter leurs qualités environnementales. Une approche multicritère peut permettre d'optimiser ces trois critères. Le vieillissement des matériaux biosourcés, et particulièrement des isolants, est peu étudié dans la littérature et concerne une grande partie de ces travaux de thèse. Les mécanismes de vieillissement de matériaux isolants à base de moelle de tournesol formulés à partir de différents liants (externes ou issus de la moelle elle-même) et leurs conséquences sur les propriétés d'usage thermiques, mécaniques et hydriques sont également étudiés. Des panneaux 100% biosourcés à base de moelle de tournesol sont soumis à un vieillissement accéléré (cycles de 24h à 10°C, 85% HR puis 24h à 30°C, 40% HR), un vieillissement climatique en extérieur et un vieillissement de référence en intérieur.

Une caractérisation thermo-hygro-mécanique des panneaux est réalisée dans les différentes conditions après 1 an de vieillissement climatique extérieur et de référence en intérieur, ainsi qu'après 30, 45 et 130 cycles de vieillissement accéléré. D'autres essais seront réalisés sur des panneaux ayant subi 1 an et demi de vieillissement en extérieur et en intérieur. En fonction des résultats, d'autres cycles de vieillissement accéléré, peut-être plus agressifs, pourront être réalisés.

REMERCIEMENTS

L'autrice remercie Ovalie Innovation, la Région Occitanie, l'IUT de Tarbes, la Communauté d'Agglomération Tarbes-Lourdes-Pyrénées, l'ADEME et le projet LOCABATI pour leur soutien financier.

REFERENCES

- Agreste Ministère de l'Agriculture, 2023a. Grandes cultures.
- Agreste Ministère de l'Agriculture, 2023b. Statistique agricole annuelle 2022.
- Amziane, S., Collet, F., Lawrence, M., Magniont, C., Picandet, V., Sonebi, M., 2017. Recommendation of the RILEM TC 236-BBM: characterisation testing of hemp shiv to determine the initial water content, water absorption, dry density, particle size distribution and thermal conductivity. *Mater Struct* 50, 167. <https://doi.org/10.1617/s11527-017-1029-3>
- Avellaneda, A., Evon, P., Haurie, L., Laborel-Préneron, A., Lagouin, M., Magniont, C., Navarro, A., Palumbo, M., Torres, A., 2023. Evaluation of the Potential of Plant Aggregates from Corn and Sunflower Stalks for the Design of Building Materials, in: Amziane, S., Merta, I., Page, J. (Eds.), *Bio-Based Building Materials*, RILEM Bookseries. Springer Nature Switzerland, Cham, pp. 70–86. https://doi.org/10.1007/978-3-031-33465-8_7
- Bacoup, F., Mahieu, A., Vitaud, A., Drone, P., Gattin, R., Leblanc, N., 2019. Various methods of binding light agricultural byproducts 37, 5.
- Chabannes, M., Nozahic, V., Amziane, S., 2015. Design and multi-physical properties of a new insulating concrete using sunflower stem aggregates and eco-friendly binders. *Mater Struct* 48, 1815–1829. <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0276-9>
- Korjenic, A., Zach, J., Hroudová, J., 2016. The use of insulating materials based on natural fibers in combination with plant facades in building constructions. *Energy and Buildings* 116, 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.12.037>
- Laborel-Préneron, A., Ampe, C., Labonne, L., Magniont, C., Evon, P., 2021. Thermal Insulation Blocks Made of Sunflower Pith Particles and Polysaccharide-Based Binders: Influence of Binder Type and Content on Their Characteristics. Presented at the 4th International Conference on Bio-Based Building Materials, Barcelona, Spain, pp. 43–50. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/CTA.1.43>
- Lenormand, H., Glé, P., Leblanc, N., 2017. Investigation of the Acoustical and Thermal Properties of Sunflower Particleboards. *Acta Acustica united with Acustica* 103, 149–157. <https://doi.org/10.3813/AAA.919040>
- Marten, B., Hicks, A., 2018. Expanded Polystyrene Life Cycle Analysis Literature Review: An Analysis for Different Disposal Scenarios. *Sustainability: The Journal of Record* 11, 29–35. <https://doi.org/10.1089/sus.2017.0015>
- Mati-Baouche, N., de Baynast, H., Sun, S., Lebert, A., Petit, E., Michaud, P., 2015. Polysaccharidic binders for the conception of an insulating agro-composite. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 78, 152–159. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.08.006>
- Ministère de la Transition écologique, 2022. Réglementation environnementale RE2020 [WWW Document]. URL <https://www.ecologie.gouv.fr/reglementation-environnementale-re2020>
- Ministère de la Transition écologique, Cerema, 2022. Guide RE2020.
- Novi, V., Labonne, L., Ballas, S., Véronèse, T., Evon, Ph., 2024. Insulation blocks made from sunflower pith with improved durability properties. *Industrial Crops and Products* 210, 118161. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.118161>
- Ratsimbazafy, H., 2021. Evaluation du potentiel de co-produits agricoles locaux valorisables dans le domaine des matériaux de construction (Palomac). Université de Toulouse 3.
- Zhang, L., Ren, W., Liu, F., Xia, L., Wu, X., Yang, R., Yu, Y., Zhang, X., 2022. A Comparative Investigation on Structural and Chemical Differences between the Pith and Rind of Sunflower Stalk and Their Influences on Nanofibrillation Efficiency. *Polymers* 14, 930. <https://doi.org/10.3390/polym14050930>