

Mesure du gonflement-retrait des granulats végétaux par analyse d'image

C. Achour^{1,a}, S. Remond^{1,b}, N. Belayachi^{1,c}

¹Univ. Orleans, Univ. Tours, INSA-CVL, LaMé – EA7494, 8 Rue Léonard De Vinci, 45072 Orléans, France

^achafic.achour@univ-orleans.fr, ^bsebastien.remond@univ-orleans.fr, ^cnaima.belayachi@univ-orleans.fr

RESUME

Le présent travail vise à étudier le gonflement et le retrait des granulats végétaux utilisés pour le développement des matériaux isolants pour le bâtiment. Un protocole expérimental a été adopté avec un cycle d'humidité relative comportant différents paliers permettant un comportement de gonflement-retrait de ces granulats très sensibles à l'humidité et au contact de l'eau. Le but ici, est d'estimer le pourcentage de gonflement/retrait résultant de ces variations dimensionnelles causées par les cycles d'humidification séchage. Après chaque palier, une analyse d'image est réalisée par un microscope optique pour mesurer la dilatation des granulats. Le rapport résultant entre la variation dimensionnelle d'un échantillon et celle de sa masse (due à l'absorption ou désorption de l'eau/vapeur d'eau) est désigné par le coefficient d'expansion ou rétraction hygroscopique β . Les résultats montrent un gonflement important et un comportement qui n'est pas réversible, présentant une hystérésis notable.

Mots-clefs : gonflement, retrait, granulats végétaux, humidité, microscopie.

I. INTRODUCTION

Les avantages hygrothermiques et acoustiques des matériaux biosourcés encouragent de manière importante leur utilisation dans le bâtiment malgré les conséquences parfois négatives de leur caractère hygroscopique. Les granulats végétaux ont une capacité de rétention d'eau intéressante pour assurer le confort hygrothermique. Cependant, les cycles de sorption/désorption de l'humidité s'accompagnent de gonflements/retraits qui peuvent entraîner des variations dimensionnelles importantes au niveau de la paroi (Le Duigou et al., 2015). D'autres auteurs (Gomina et al., 2019) ont montré que ces variations dimensionnelles consécutives aux changements d'humidité peuvent provoquer la dégradation de la matrice et de l'interface granulat/liant. Ce comportement est fortement lié à la composition biochimique, à la morphologie et à la microstructure des granulats végétaux, qui sont variables en fonction de la géographie, du climat et de la maturité de la plante (Viel et al., 2018). Cette dispersion naturelle rend l'étude complexe pour un même type de granulat. Plusieurs études ont été menées sur l'identification du coefficient de gonflement hygroscopique, avec plusieurs méthodes d'identification telles que le microscope optique (Rima et al., 2021) ou la méthode de balayage laser automatisé (Garat et al., 2019).

Dans ce travail, nous proposons une méthodologie pour l'évaluation des variations dimensionnelles des granulats végétaux (paille de blé, paille de colza, et tige de tournesol). Avant l'analyse d'image et la mesure du gonflement/retrait, les granulats ont été exposés à des humidités relatives variables et contrôlées (12%,50%,80%) jusqu'à stabilité de masse provoquant le gonflement, ou le retrait selon que le palier soit une humidification ou un séchage.

II. Matériaux et protocole expérimental

Les granulats étudiés dans ce travail sont la paille de blé, la paille de colza et l'écorce de tournesol récoltés dans la région Centre Val de Loire en 2020. Ces granulats ont été utilisés pour les biocomposites développés pour l'isolation thermique des bâtiments dans d'autres travaux précédents de l'équipe (Belayachi et al., 2013) ; (Brouard et al., 2018). La figure 1 (Fig.1) montre la microstructure de chaque type de granulat et montre la porosité importante à l'origine de leur comportement fortement hygroscopique.

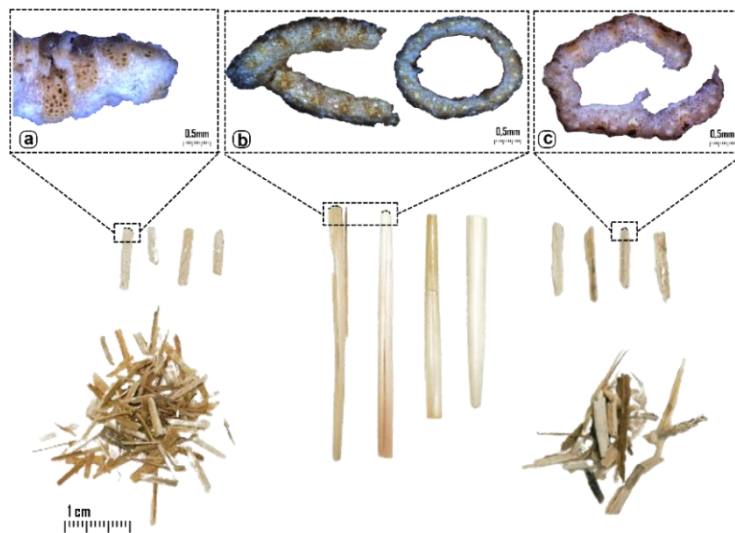


Figure 1: Différents types de granulats étudiés a) Ecorce de tournesol, b) Paille de blé, c) Paille de colza

Ces granulats ont été exposés à un cycle d'humidification (12%, 55%, 80%), et de séchage (80%, 55%, 12%). Une analyse d'image des granulats a été réalisée grâce aux photos prises en utilisant le microscope optique « Leica Microsystems (Schweiz) AG » permettant de mesurer le champ de déplacement des granulats tout au long du cycle de sorption/désorption. Pour assurer la continuité des conditions de prise de photos et des conditions d'humidité, les agrégats sont maintenus sur un support, puis déplacés dans une cellule contenant du gel de silice pour la protection contre la variation de l'humidité relative, et enfin placés dans une chambre climatique pour une exposition cyclique. Les granulats sont ensuite observés au même endroit, par le microscope dont les paramètres sont réglés pour obtenir un taux de conversion pixel-distance unique. L'image est prise à la fin de chaque cycle et après stabilisation de la masse des échantillons avec une différence entre deux mesures consécutives inférieure à 0,5%. Le coefficient d'hygro expansions/contraction est déterminé par la relation suivante (Garat et al., 2019) :

$$\beta_{\text{hygro}} = \frac{G(\%) \text{ ou } R(\%)}{\Delta m(\%)} \quad (1)$$

Avec : Δm (%) la teneur en eau par rapport à l'état sec (HR12%) pour la phase de sorption, ou la teneur en eau par rapport à l'état humide (HR80%) pour la phase de désorption ; $G(\%)$, pourcentage

de gonflement, et R(%), pourcentage de retrait (pourcentages respectifs de variation de l'épaisseur pour la phase de sorption et désorption).

III. Résultats et discussion

La figure 2 (Fig.2) présente un exemple d'analyse de photos pour la paille de blé au cours d'un cycle humidification-séchage. Une observation comparative des images permet de noter un gonflement du granulat quand l'humidité passe de 12% à 80% et un retrait dans le sens inverse sans retour à l'état initial. Les brins de paille se dilatent et provoquent une augmentation/diminution de la surface de la porosité interne des granulats résultant de la sorption/désorption. L'apparition de moisissures est également observée dans certains cas (ligne 1, Fig. 2) quand le temps d'exposition aux humidités importantes est plus long.

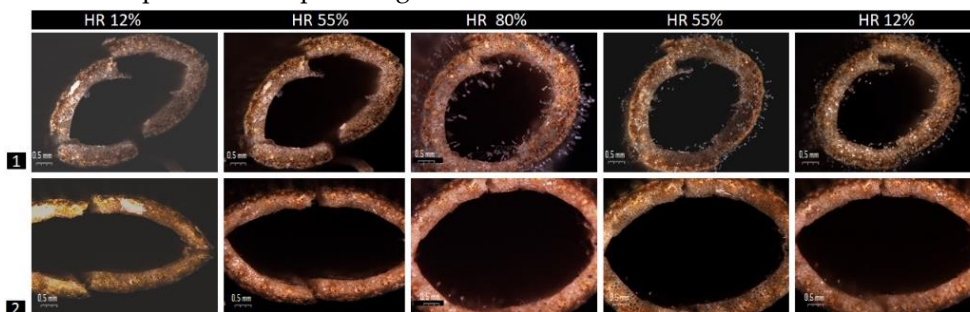


Figure 2 : Observation microscopique de la paille de blé suivant plusieurs humidité relative

La figure 3 (Fig.3) montre les variations dimensionnelles des granulats en fonction des humidités relatives des paliers utilisés dans l'étude. Les courbes montrent un comportement avec une hystérésis importante entre le gonflement et le retrait pendant la sorption et la désorption de l'humidité, un comportement typique aux matériaux fortement hygroscopiques. Le comportement en gonflement retrait est par conséquent loin d'être réversible. Les mesures montrent que les granulats gonflent de manière très importante avec un pourcentage moyen de $21\pm 2\%$, $5\pm 1\%$, $14\pm 1\%$ respectivement pour la paille de blé, l'écorce de tournesol, et la paille de colza. Le rétrécissement dans le chemin de séchage est moins significatif avec une moyenne de $13\pm 2\%$, $3\pm 1\%$, $10\pm 1\%$ respectivement pour la paille de blé, l'écorce de tournesol, et la paille de colza.

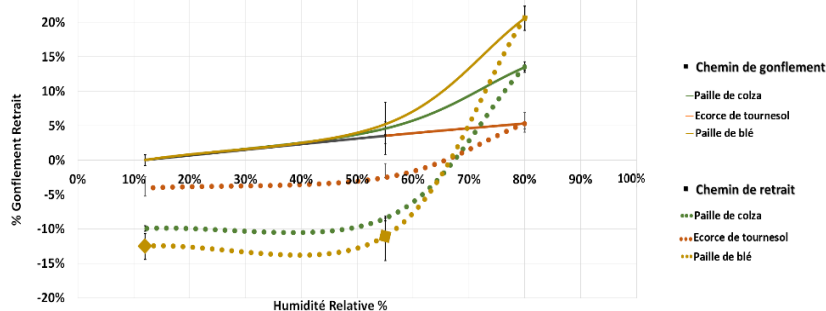


Figure 3 : Pourcentage de la variation de gonflement et retrait par rapport à l'humidité relative pour la paille de blé, l'écorce de tournesol et la paille de colza

Le tableau 1 présente les coefficients d'hygro expansions-rétraction des granulats végétaux étudiés, calculés entre 12% et 80% d'humidité relative à 23°C. Ce coefficient varie entre la phase de gonflement et la phase de retrait et est lié au phénomène d'hystérésis que présente ces matériaux d'un granulat à l'autre en raison de leur structure poreuses (Bouasker et al., 2014; Broard et al. 2018)

Tableau 1 : les coefficients d'hygro expansions/retrait des granulats étudiés

Granulat	Sorptions		Désorption	
	%Gonflement	β_s , hygro	%Retrait	β_s , hygro
Paille de blé	21±2%,	4,3572	13±2%,	2,2741
Paille de colza	14±1%	2,8089	10±1%	1,7357
Ecorce de tournesol	5±1%,	0,7134	3±1	0,5874

IV. Conclusion

L'effet de la variation d'humidité relative sur les différents granulats a été étudié. L'hygro-expansion est aussi mesurée grâce à un protocole d'analyse d'image de microscope, mettant en évidence la variation dimensionnelle des granulats végétaux. L'hystérésis trouvée dans la courbe de gonflement humidité avec la même que la courbe de sorption et désorption de rétention d'eau de ces granulats.

Grâce au protocole expérimental mis au point, les coefficients d'hygro-expansion ont été déterminés et montrent non seulement l'impact de l'humidification séchage, mais aussi l'influence du type de granulats et de sa microstructure sur son évolution. Par ailleurs, il convient après ces résultats de noter l'importance d'étudier le gonflement/retrait des biocomposites pour la mise en évidence de ce phénomène afin de prévoir des solutions de mise en œuvre.

REFERENCES

- Belayachi, N., Bouasker, M., Hoxha, D., Al-Mukhtar, M., 2013. Thermo-Mechanical Behaviour of an Innovant Straw Lime Composite for Thermal Insulation Applications. Appl. Mech. Mater. 390, 542–546. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.390.542>
- Bouasker, M., Belayachi, N., Hoxha, D., Al-Mukhtar, M., 2014. Physical Characterization of Natural Straw Fibers as Aggregates for Construction Materials Applications. Materials 7, 3034–3048. <https://doi.org/10.3390/ma7043034>
- Brouard, Y., Belayachi, N., Hoxha, D., Méo, S., Abdallah, W., 2017. Hygrothermal Behavior of Clay - Sunflower (*Helianthus annuus*) and Rape Straw (*Brassica napus*) Plaster Bio-Composites for Building Insulation. Adv. Eng. Forum 21, 242–248. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AEF.21.242>
- Garat, W., Moigne, N., Corn, S., Beaugrand, J., Bergeret, A., 2019. Swelling of Plant Fibers under Hygro/Hydrothermal Conditions: Determination of Hygro/Hydroexpansion Coefficients. Rev. Compos. Matér. Avancés 29, 225–232. <https://doi.org/10.18280/rcma.290406>
- Le Duigou, A., Bourmaud, A., Baley, C., 2015. In-situ evaluation of flax fibre degradation during water ageing. Ind. Crops Prod. 70, 204–210. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.049>
- Garat, W., Moigne, N., Corn, S., Beaugrand, J., Bergeret, A., 2019. Swelling of Plant Fibers under Hygro/Hydrothermal Conditions: Determination of Hygro/Hydroexpansion Coefficients. Rev. Compos. Matér. Avancés 29, 225–232. <https://doi.org/10.18280/rcma.290406>
- Gomina, M., Rouch, M., Roy, A., Duriatti, D., 2019. Représentativité des essais de vieillissement accélérés dans le cas des composites biosourcés incorporant des fibres végétales 11.
- Rima, A., Abahri, K., Bennai, F., El Hachem, C., Bonnet, M., 2021. Microscopic estimation of swelling and shrinkage of hemp concrete in response to relative humidity variations. J. Build. Eng. 43, 102929. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102929>
- Viel, M., Collet, F., Lanos, C., 2018. Chemical and multi-physical characterization of agro-resources' by-product as a possible raw building material. Ind. Crops Prod. 120, 214–237. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.04.025>(Belayachi et al., 2013)