
Etude du potentiel des écorces de tournesol et de maïs comme granulats végétaux dans la formulation de bétons légers

Méryl Lagouin¹, Camille Magniont¹, Pascale Sénéchal², Peter Moonen^{2,3}, Jean-Emmanuel Aubert¹

¹ LMDC, Université de Toulouse, INSA, UPS, France (corresponding author : lagouin@insa-toulouse.fr)

² Univ Pau & Pays Adour, CNRS, DMEX - IPRA, UMS 3360, 64000, Pau, France

³ Univ Pau & Pays Adour, CNRS, LFCR - IPRA, UMR 5150, 64000, Pau, France

RÉSUMÉ. L'association de particules biosourcées à un liant minéral permet de formuler des bétons végétaux légers à faible impact environnemental et aux propriétés hygrothermiques intéressantes. Ces dernières années, les travaux de recherche se sont principalement focalisés sur l'utilisation du chanvre comme granulats végétaux. L'étude présentée s'intéresse au potentiel d'autres agroressources disponibles localement afin de réduire le coût environnemental lié au transport des matières premières. Les travaux menés ont visé à caractériser l'arrangement granulaire des particules (granulométrie et densité), leur structure poreuse par tomographie à rayons X, leur comportement hydrique (vis-à-vis de l'eau liquide comme de la vapeur d'eau) et les interactions chimiques entre les hydrosolubles des agroressources et une matrice minérale. L'analyse de ces résultats met en évidence des capacités de transfert et de stockage de l'humidité élevée pour les particules de tournesol et de maïs. Les travaux menés révèlent les perspectives prometteuses des écorces de maïs et de tournesol comme granulats végétaux.

ABSTRACT. Bio-aggregate based building materials offer promising perspectives thanks to their low environmental impact and interesting hygrothermal behaviour. As one of the high-potential agricultural resources, hemp has been extensively investigated for the last 15 years. This article aims to evaluate the potential of two other vegetal aggregates as a raw material to design bio-aggregate based concrete. Being locally available, the use of sunflower and maize bark particles could reduce transport and the associated carbon dioxide emissions. This study focuses on assessing the porous structure of bio-aggregates by X-ray tomography, their hygric sorption capacities (vapour and liquid water) as well as their chemical interactions with mineral binder and their effects on setting. The results underline the high transfer and storage capacities of these materials. Hence, the findings demonstrate that sunflower and maize bark particles are high-potential plant aggregates to design bio-aggregate based concrete.

MOTS-CLÉS : matériaux biosourcés, porosité, tomographie à rayons X, capacité d'absorption en eau, isothermes de sorption, hydrosoluble.

KEY WORDS: bio-based materials, porosity, X-ray tomography, water absorption capacity, sorption isotherms, water-solubility.

1. Contexte

Chaque année, l'humanité consomme l'équivalent d'une planète et demie pour subvenir à ses besoins [WWF 16]. Pour réduire cette empreinte écologique, le secteur de la construction, responsable de 42% des consommations d'énergie en France et de 25% des émissions de gaz à effet de serre [MEEM 15], doit prioritairement évoluer pour transformer son activité. Cette problématique a contribué à l'essor de matériaux de construction innovants, répondant à la fois aux exigences environnementales et de durabilité.

Les matériaux biosourcés ont été identifiés comme ayant un potentiel de développement économique élevé pour l'avenir. Ces agroressources, pour la plupart sous-produits des activités agricoles sont issues d'une ressource locale, abondante, disponible et renouvelable. Les granulats végétaux concourent significativement au stockage de carbone atmosphérique et à la préservation des ressources naturelles par la valorisation de déchets. De plus, ces matériaux permettent des économies d'énergie grâce à leurs capacités à gérer les transferts de vapeur d'eau ainsi qu'à limiter les transferts d'énergie ce qui, employé dans un bâtiment permet d'assurer un confort intérieur [AMZ 17].

Ces dernières années, les travaux de recherche ont majoritairement porté sur l'utilisation de chènevotte pour le développement d'écomatériaux de construction. Toutefois, le chanvre n'est pas la ressource agricole la plus largement disponible sur le territoire français (11 000 ha cultivés en 2016). Afin de réduire l'émission de carbone liée aux transports de matériaux, il apparaît alors nécessaire de se tourner vers d'autres sous-produits, disponibles en grandes quantités dans le sud-ouest de la France où se place l'étude. C'est le cas notamment du maïs, deuxième céréale la plus cultivée en France (2,9 millions ha cultivés, soit 10 millions de tonnes de tiges disponibles chaque année) et du tournesol (614 000 ha cultivés, soit près de 230 000 tonnes de résidus agricoles produits par an) [GNIS 17 ; LAB 17].

Dans ce contexte, les travaux présentés ici visent à caractériser et évaluer le potentiel des écorces de tournesol et de maïs comme agroressources en remplacement de la chènevotte de chanvre pour la formulation de bétons légers. Les particules d'écorce utilisées pour ces travaux sont obtenues après récolte directement dans les champs, séchage, broyage et séparation mécanique de l'écorce et de la moelle, les deux phases principales des tiges (**Figure 1**).

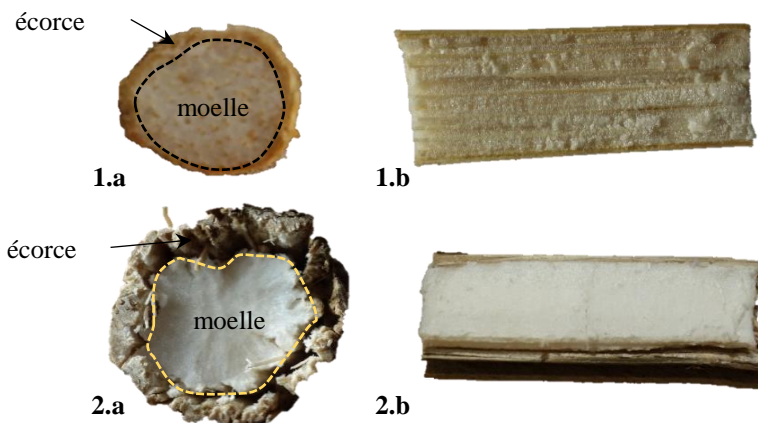


Figure 1. Structure des tiges de maïs (1) et de tournesol (2) : photo de sections transversales (a) et longitudinales (b).

2. Résultats

2.1. Densité et granulométrie

Le protocole élaboré dans le cadre des travaux du TC RILEM 236 - BBM [AMZ 17] a été utilisé pour mesurer la masse volumique moyenne apparente en vrac des deux natures de granulats. Ainsi, l'arrangement granulaire des écorces de tournesol ($120,2 \pm 1,0 \text{ kg/m}^3$) et de maïs ($168,2 \pm 4,5 \text{ kg/m}^3$) est peu dense, tout comme celui de la chènevotte (entre 110 et 155 kg/m^3 [CER 05 ; DIN 14 ; LAB 17 ; NOZ 12]).

Les courbes granulométriques du tournesol et du maïs obtenues par analyse d'images sont proches de celle de la chènevotte [LAB 17]. L'analyse complémentaire de la distribution des différents granulats végétaux selon leur circularité, révèle des morphologies distinctes pouvant notamment influencer la compacité de chaque arrangement granulaire en vrac ou au sein du béton végétal.

2.2. Structure poreuse

La morphologie et la structure poreuse des granulats végétaux sont visibles grâce à la reconstitution numérique en trois dimensions des éléments végétaux par tomographie à rayons X (**Figures 2**). Les particules végétales présentent une forte porosité due aux nombreux capillaires présents dans leur structure interne qui permettent à la sève de circuler le long de la tige. Les analyses des coupes mettent en évidence une structure poreuse des particules de maïs tubulaire tandis que celle du tournesol est à la fois tubulaire (pores les plus fins) et alvéolaire (plus gros pores). Dans les deux cas, quelques pores semblent traversants.

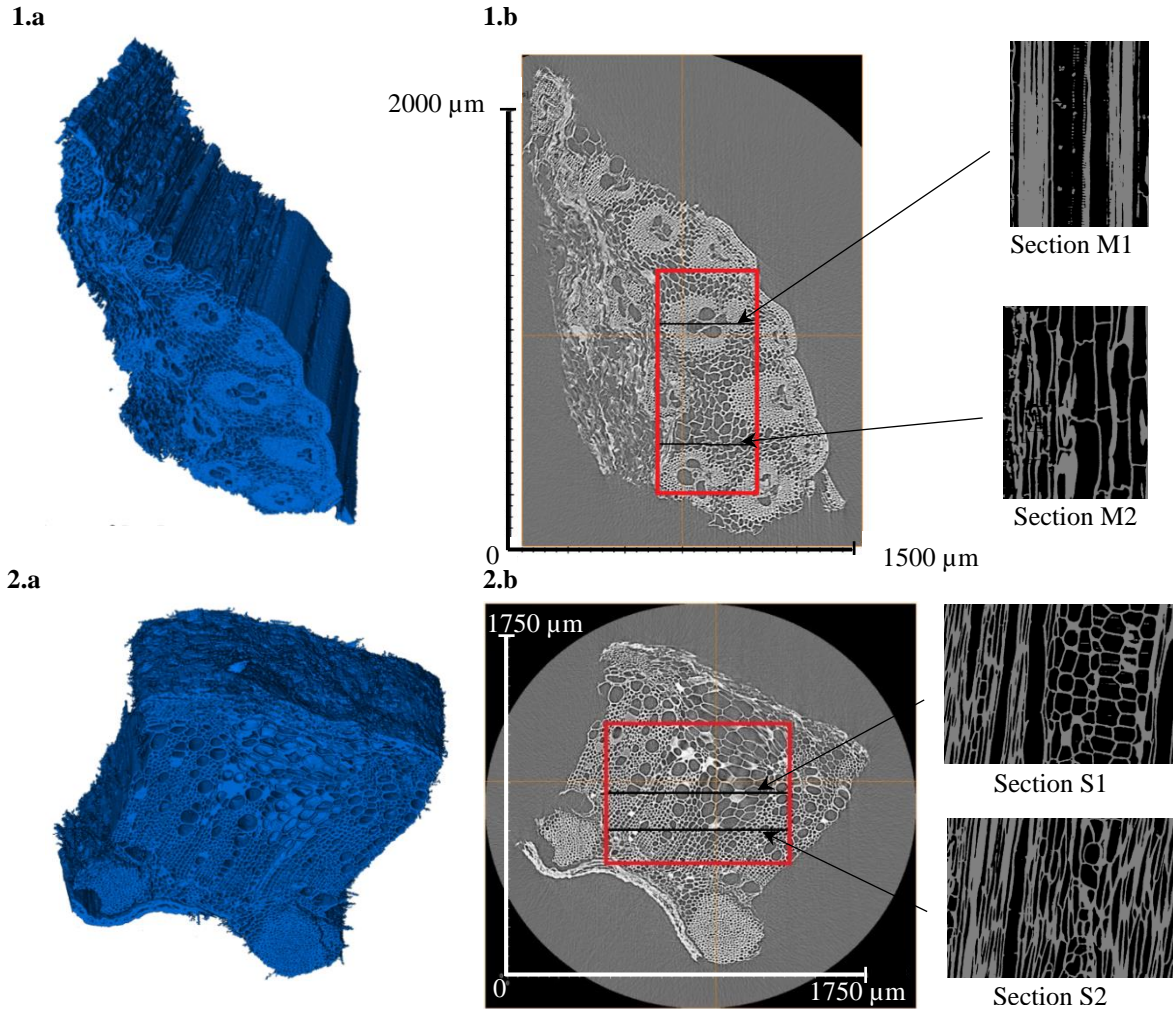


Figure 2. Volume 3D reconstitué (a) et images de sections transversales (b) de particules d'écorce de maïs (1) et de tournesol (2) obtenues par tomographie à rayons X (les écorces sont en gris sur les sections M1, M2, S1, S2).

La tomographie à rayons X a permis d'estimer la porosité totale des particules : celle du tournesol est de $58 \pm 8\%$ et celle du maïs, de $51 \pm 9\%$. Ces premières analyses mettent en évidence le fort potentiel de la tomographie à rayons X comme outil d'analyse des granulats végétaux mais également des composites associant ces particules végétales à un liant minéral.

2.3. Propriétés hydriques

La forte porosité des granulats légers pose la question de leur comportement vis-à-vis de l'eau. Pour ce faire, deux essais ont été conduits : la détermination de la capacité d'absorption d'eau liquide et les mesures d'isotherme d'adsorption de vapeur d'eau.

Au regard des capacités d'absorption évaluées sur 48 heures, le maïs et le tournesol ont un fort pouvoir absorbant vis-à-vis de l'eau liquide, ce qui influencera la formulation des bétons végétaux pour lesquels un fort surdosage en eau de gâchage sera notamment nécessaire. La capacité d'absorption est légèrement plus importante pour le tournesol (295% de variation massique à 48h) que pour le maïs (255%) mais reste inférieure à celle de la chènevotte (305% à 48h [DIN 14]) et 380% [NOZ 12 ; LAB 17]).

Les isothermes d'adsorption de l'écorce de maïs et de celle de tournesol déterminées au DVS sont des sigmoïdes de type II (tournesol) ou III (maïs), selon la classification IUPAC. La porosité ouverte plus importante du tournesol confère à cette écorce une teneur en eau massique supérieure à celle du maïs et comparable à celle de la chènevotte aux faibles et moyennes hygrométries [LAB 17 ; MAG 10]. À partir de 70% d'humidité relative, la teneur en eau des deux natures d'écorce étudiées augmente plus fortement avec l'hygrométrie. À 95% d'humidité relative, la teneur en eau de l'écorce de tournesol est de 31% tandis que celle de l'écorce de maïs atteint 40% contre seulement 22% pour la chènevotte [LAB 17 ; MAG 10].

2.4. Interactions chimiques

L'impact des hydrosolubles issus des agroressources sur la prise d'un liant pouzzolanique est évalué par calorimétrie isotherme. L'essai est réalisé sur des pâtes modèles de liant associant 30% de chaux aérienne et 70% de métakaolin, gâchées avec des jus contenant les composants hydrosolubles extraits des différentes agroressources. Les résultats mettent en évidence une inhibition très marquée pour le maïs, avec un retard de prise de plus de 20h tandis que les hydrosolubles de la chènevotte et du tournesol induisent, respectivement, un retard de 40 min et 1h15 min.

3. Conclusion

Les travaux présentés ont permis une analyse comparative des caractéristiques et propriétés des écorces de maïs et de tournesol avec la chènevotte, granulats de référence pour la formulation de bétons végétaux. Le tournesol, plus poreux et plus léger, n'impacte pas négativement la prise du liant ; au contraire, le maïs dont les capacités d'adsorption sont prometteuses grâce à la taille de ces capillaires, crée un retard de prise significatif. L'analyse des résultats met ainsi en évidence le potentiel des particules dont le comportement est comparable à la chènevotte. L'analyse des caractéristiques propres des agroressources est indispensable pour comprendre et optimiser les propriétés des matériaux composites. Ainsi, cette étude s'inscrit dans un travail plus large qui vise à établir le lien entre les propriétés hygrothermiques des composites et la porosité et le comportement hydrique des granulats végétaux. De plus, ce travail s'intéresse à la corrélation entre les interactions chimiques liant/grulats et les performances mécaniques des bétons légers. Les composites ainsi étudiés ont été formulés en considérant différentes natures de matrices minérales (cimentaire, pouzzolanique et chaux formulée).

4. Bibliographie

- [AMZ 13] AMZIANE S., ARNAUD L., *Bio-aggregate-based Building Materials. Applications to Hemp Concrete*, ISTE Ltd and Wiley, Inc, 2013.
- [AMZ 17] AMZIANE S., COLLET F., *Bio-aggregate-based Building Materials*, Dordrecht: Springer Netherlands, 2017.
- [BRO 18] BROUARD Y., BELAYACHI N., HOXHA D., RANGANATHAN N., MEO S., « Mechanical and hygrothermal behavior of clay - Sunflower (*Helianthus annuus*) and rape straw (*Brassica napus*) plaster bio-composites for building insulation », *Constr. Build. Mater.*, 2018, vol. 161, p. 196-207.
- [CER 05] CERESO V., Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales : approche expérimentale et modélisation théorique, Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, 2005.
- [DIN 14] DINH T.M., Contribution au développement de béton de chanvre préfabriqué utilisant un liant pouzzolanique innovant, Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2014.
- [MEEM 15] MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ENERGIE ET DE LA MER, Bilan énergétique de la France pour 2015, 2015.
- [GNIS 17] GROUPEMENT NATIONAL INTERPROFESSIONNEL DES SEMENCES ET PLANTS, 2017.
- [LAB 17] LABOREL-PRENERON A., « Characterization of barley straw, hemp shiv and corn cob as resources for bioaggregate based building materials », *Waste and Biomass Valorization*, 2017.
- [MAG 10] MAGNIONT C., Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un écomatériau de construction à base d'agroressources, Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2010.
- [NOZ 12] NOZAHIC V., Vers une nouvelle démarche de conception des bétons de végétaux lignocellulosiques basée sur la compréhension et l'amélioration de l'interface liant/végétale : application à des granulats de chènevotte et de tige de tournesol associés à un liant ponce/chaux, Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II, 2012.
- [SID 17] SIDI MOHAMED A., SABATHIER V., EVON P., MAGNIONT C., LABONNE L., « Contribution to the design and the characterization of a fully bio-based insulated panel including sunflower pith », International Conference on Bio-based Building Materials - ECOlogical valorisation of GRANular and FIBrous materials, Clermont-Ferrand, juin 2017.
- [WWF 16] WWF, Living Planet Report 2016: Risk and resilience in a new era, 2016.