

# Structuration d'une filière de valorisation transfrontalière des tiges de maïs et de tournesol pour la construction

Méryl Lagouin<sup>1</sup>, Didier Bire<sup>1</sup>, Jean-Baptiste Bory<sup>2</sup>, Philippe Evon<sup>2</sup>, Laurent Labonne<sup>2</sup>, Aurélie Laborel-Préneron<sup>1</sup>, Camille Magniont<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions (LMDC), Université de Toulouse, INSA, UPS, Toulouse, France

<sup>2</sup> Laboratoire de Chimie Agro-industrielle (LCA), Université de Toulouse, INRAE, INPT, Toulouse, France

**RESUME** SAVASCO est un projet INTERREG V-A Espagne - France - Andorre (POCTEFA 2014-2020), qui vise à structurer une filière de construction innovante et éco-efficente à base de tiges de maïs et de tournesol. Implantée sur le territoire transpyrénéen, le projet doit permettre de contribuer à la réduction des impacts environnementaux du secteur du bâtiment. Le travail présenté s'appuie sur la caractérisation de granulats végétaux produits dans le cadre du projet pour développer des solutions constructives innovantes et performantes à base de maïs et de tournesol.

**Mots-clés** agroressources, terre allégée, agrobétons, biosourcés, projection

## I. INTRODUCTION

Le travail réalisé vise à la StructurAtion d'une filière de Valorisation transfrontalière des tiges de mAïs et de tourneSol pour la COnstruction (SAVASCO). Inscrit dans le cadre d'un projet INTERREG V-A Espagne – France – Andorre (POCTEFA 2014-2020), les activités de SAVASCO sont implantées sur le territoire transpyrénéen et doivent permettre de contribuer à la réduction des impacts environnementaux du secteur du bâtiment. Pour ce faire, le projet vise notamment au développement de procédés de collecte et de transformation des tiges de maïs et de tournesol à un coût modéré pour la production de granulats végétaux aux caractéristiques physico-chimiques maîtrisées ainsi qu'à la formulation et la caractérisation de matériaux de construction à partir des granulats produits. Les matériaux développés permettront la construction de deux prototypes instrumentés pour permettre le suivi de leur comportement thermohygrique ainsi que de leur efficacité énergétique sera assuré. Conjointement, une évaluation, sur la base de l'Analyse du Cycle de Vie des performances environnementales, économiques et sociales des produits de construction développés est conduite. Enfin, l'identification et la mise en réseau des acteurs des filières productrices des granulats végétaux, de développement, de mise en œuvre et de prescription des produits de construction à base de tiges de maïs et de tournesol devraient être réalisées.

Le travail présenté ici se focalise sur la production et la caractérisation des granulats de maïs et de tournesol pour le développement d'agrobétons, de terres allégées et de panneaux isolants 100% biosourcés.

## II. CARACTERISATION DES GRANULATS VEGETAUX

La collecte des tiges de maïs et de tournesol est menée à la demande de la Federació de Cooperatives Agràries de Catalunya par des agriculteurs membres de la Cooperativa Agrícola de Castelló d'Empúries. Après séchage jusqu'à une humidité permettant la limitation de la prolifération microbienne au stockage, chaque lot collecté a fait l'objet d'un fractionnement de la tige par broyage. Un traitement mécanique par aspiration et soufflage a été appliqué aux tiges de tournesol afin de produire deux fractions distinctes : l'écorce et la moelle, les deux phases principales des tiges. Ces étapes de fractionnement permettent la production de sept granulats différents : broyat de tiges entières de maïs, broyat de tiges entières de tournesol (avec et sans défilage), écorce de tournesol (granulométrie complète, petites particules et grandes particules) et concentrat de moelle de tournesol. Une chènevotte de chanvre calibrée et commercialisée, servant de granulats de référence, est également caractérisée.

Les protocoles mis en œuvre pour la caractérisation des granulats sont adaptés de travaux de recherche (Ratsimbazafy, 2022) ou de recommandations existantes dans la littérature (Amziane et al., 2017). Les propriétés physico-chimiques des granulats sont déterminées.

Les principaux résultats de la caractérisation physique des granulats sont présentés dans le Tab. 1.

Granulats		$\rho_{\text{vrac}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_{\text{particule}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_{\text{solide}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$n_{\text{inter}}$ [%]	$n_{\text{intra}}$ [%]	$\rho_{\text{compactés}}$ [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Chanvre</b>	<b>Chènevotte</b>	111 ± 1	434 ± 17	1317 ± 59	74 ± 1	67 ± 2	86 ± 3
<b>Tournesol</b>	<b>Ecorce &lt; 4 mm</b>	144 ± 3	496 ± 20	1453 ± 75	71 ± 2	66 ± 2	131 ± 5
	<b>Ecorce</b>	136 ± 7	467 ± 28	1471 ± 77	71 ± 3	68 ± 2	127 ± 8
	<b>Ecorce &gt; 4 mm</b>	125 ± 5	489 ± 23	1444 ± 77	75 ± 1	67 ± 2	103 ± 12
	<b>Moelle</b>	64 ± 3	190 ± 12	1569 ± 81	67 ± 4	88 ± 1	61 ± 4
	<b>Broyat</b>	83 ± 1	672 ± 34	1452 ± 75	88 ± 1	54 ± 3	102 ± 5
	<b>Broyat défilé</b>	96 ± 7	448 ± 25	1401 ± 73	79 ± 3	68 ± 2	102 ± 3
<b>Maïs</b>	<b>Broyat</b>	43 ± 4	485 ± 31	1472 ± 83	91 ± 1	67 ± 2	88 ± 1

$\rho_{\text{vrac}}$ , masse volumique apparente en vrac ;  $\rho_{\text{particule}}$ , masse volumique des particules ;  $\rho_{\text{solide}}$ , masse volumique théorique de solide ;  $n_{\text{inter}}$ , porosité inter-particulaire des granulats en vrac ;  $n_{\text{intra}}$ , porosité inter-particulaire des granulats en vrac ;  $\rho_{\text{compactés}}$ , masse volumique des particules compactées humides puis séchées.

**TABLEAU 1.** Caractéristiques des granulats étudiés.

L'évaluation de la teneur en constituants extractibles à pH basique permet de déterminer le potentiel d'inhibition des granulats dans l'hydratation du liant, pouvant de ce fait affecter la prise et le durcissement de la matrice minérale. Afin de tenir compte de la morphologie et de la masse volumique des granulats qui influencent le dosage massique des granulats dans le composite, les résultats sont représentés en masse d'extractibles dans 1 m<sup>3</sup> de granulats végétaux compactés à l'état humide puis séchés (Ratsimbazafy, 2022).

Le maïs présente ainsi une teneur en hydrosolubles à pH = 12 comparable à celle de la chènevotte de chanvre. Les résultats obtenus pour la chènevotte ( $23 \text{ kg}_{\text{hydrosolubles}} / \text{m}^3_{\text{granulats}}$ ) comme pour l'écorce et la moelle de tournesol ( $30\text{-}40 \text{ kg}_{\text{hydrosolubles}} / \text{m}^3_{\text{granulats}}$ ), types de granulats caractérisés à un pH similaire par Ratsimbazafy (2022), sont supérieurs à ceux que ces derniers ont obtenus (variant entre 9 et  $20 \text{ kg}_{\text{hydrosolubles}} / \text{m}^3_{\text{granulats}}$ ). Les teneurs de nos granulats restent néanmoins très en deçà de celles des sarments de vignes caractérisés par Ratsimbazafy (2022) qui, de par leur densité élevée, atteignent  $50 \text{ kg}_{\text{hydrosolubles}} / \text{m}^3_{\text{granulats}}$ , risquant ainsi d'altérer les performances mécaniques issus de ces granulats.

Par ailleurs, la capacité d'absorption d'eau des granulats, propriété déterminante pour la formulation des agromatériaux à base de liant hydraulique, est évaluée. Pour cela, les granulats placés dans un filet sont immergés durant 30 secondes, secoués par de grands mouvements verticaux pour retirer l'eau excédentaire et mis en œuvre selon un protocole identique à la réalisation de blocs de béton végétal vibro-compactés. Après séchage, la capacité d'absorption est déterminée. Les résultats mettent en évidence un potentiel d'absorption des écorces de tournesol ( $\sim 150 \text{ kg}_{\text{eau}} / \text{m}^3_{\text{granulats}}$ ) plus faible que celui des broyats et de la chènevotte ( $\sim 200 \text{ kg}_{\text{eau}} / \text{m}^3_{\text{granulats}}$ ). La moelle, quant à elle, peut absorber près de  $600 \text{ kg}_{\text{eau}} / \text{m}^3_{\text{granulats}}$ .

### III. MISE EN ŒUVRE DES AGROMATÉRIAUX

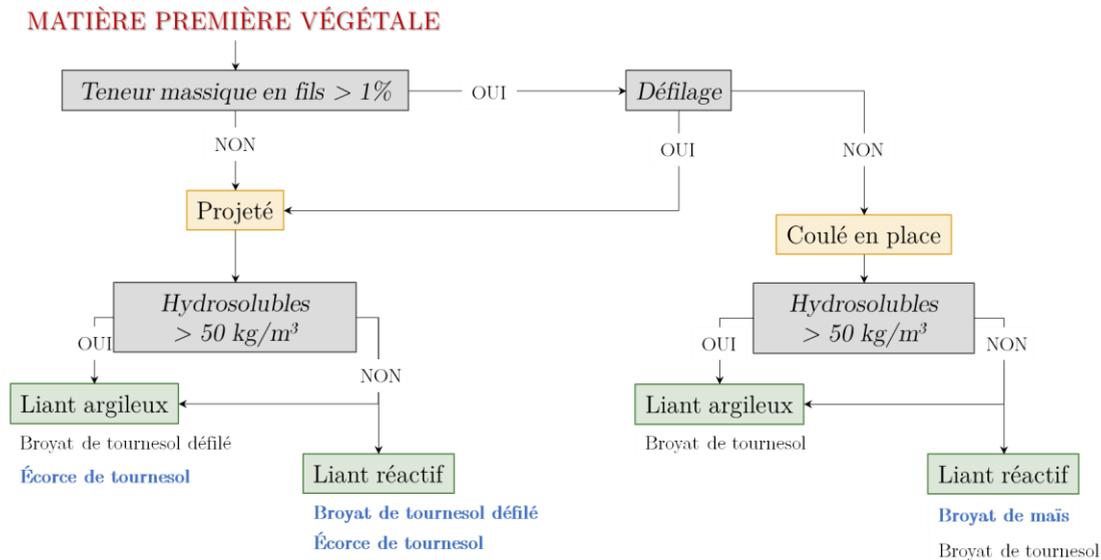
Les granulats végétaux ainsi produits permettent la formulation d'agromatériaux. Les propriétés des granulats permettent de déterminer l'application comme matériaux de construction qui leur est la plus adaptée.

#### A. Granulats en panneaux

Les granulats mis en œuvre sous forme de panneaux doivent être légers (i.e. masse volumique des particules faible) et ainsi présenter de faibles valeurs de conductivité thermique. Les panneaux doivent également être auto-porteurs. De ce fait, le comportement sous sollicitation mécanique des empilements de granulats permettrait d'évaluer le potentiel des granulats pour une utilisation en panneaux isolants. Avec près de 88% de porosité intraparticulaire, la moelle de tournesol est donc un granulats privilégié pour une utilisation en panneaux isolants en association avec de l'amidon pour assurer la cohésion entre les granulats.

#### B. Granulats associés à un liant minéral

Mis en œuvre avec une matrice minérale, les granulats permettent la formulation de béton végétal ou terres allégées qui peuvent être coulés en place ou projetés. Des essais de mise en œuvre de ces matériaux en utilisant un outil de projection ont été réalisés afin de vérifier la compatibilité des granulats produits et des différentes formulations avec la technique de projection et de comprendre les possibilités et les limites de l'outil de projection. Certaines propriétés des granulats, déterminantes pour une mise en œuvre par projection, ont ainsi pu être identifiées. Le diagramme décisionnel présenté en Fig. 1 a ainsi pu être établi sur la base de deux campagnes d'essais à l'échelle paroi mise en œuvre en collaboration avec Terre de Bois, coopérative d'écoartisans partenaire du projet SAVASCO.



**FIGURE 1.** Diagramme décisionnel de mise en œuvre des particules végétales pour la réalisation d'agrobétons ou de terres allégées.

Ainsi, la teneur en fils dans les granulats produits détermine la méthode de mise en œuvre du matériau composite. De plus, la teneur en hydrosolubles à pH basique est un critère prédominant dans le choix du liant minéral employé.

### III. CONCLUSION

Le travail réalisé doit ainsi contribuer à l'évaluation du potentiel des différents types de granulats issus de la transformation des tiges de maïs et de tournesol en tant que matières premières de matériaux de construction. Pour chacune de ces applications des valeurs seuils ou cibles devraient finalement être fixées concernant les propriétés physico-chimiques des granulats, contribuant ainsi à compléter le référentiel de caractérisation des granulats végétaux initié dans de précédents travaux (Amziane et al., 2017; Ratsimbazafy, 2022).

### REMERCIEMENTS

Ce projet (EFA353/19/SAVASCO) a été cofinancé par le Fonds européen de développement régional (FEDER) dans le cadre du programme POCTEFA (INTERREG V-A Espagne – France – Andorre 2014-2020).

### REFERENCES

- 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. *Materials and Structures* 50. <https://doi.org/10.1617/s11527-017-1029-3>
- Ratsimbazafy, H.H., 2022. Evaluation du potentiel de co-produits agricoles locaux valorisables dans le domaine des matériaux de construction. Université Toulouse III - Paul Sabatier, Tarbes.
- The International Energy Agency, 2017. World energy balances and statistics – Data services [WWW Document]. IEA. URL <https://www.iea.org/subscribe-to-data-services/world-energy-balances-and-statistics> (accessed 4.30.20).