

Propriétés effectives thermiques des biocomposites à base de tournesol

Naima Belayachi¹, Brahim Ismail¹, Yoann Broard²

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

²Univ. Tours, Univ. Orleans, INSA-CVL, LaMé-EA7494, 8 Rue Léonard De Vinci, 45072 Orléans, France

naima.belayachi@univ-orleans.fr

RESUME

Ce papier présente la modélisation des propriétés effectives thermiques des biocomposites à base de granulats végétaux de tournesol en utilisant la méthode d'homogénéisation numérique. La prédiction des propriétés effectives est très importante à la fois pour l'optimisation des mélanges de ces matériaux et l'étude du comportement des parois dans le cadre d'une rénovation thermique des bâtiments. Le volume élémentaire représentatif et la forme des hétérogénéités ont été choisis pour décrire la microstructure complexe des matériaux biosourcés étudiés. Une méthodologie d'homogénéisation par plusieurs étapes est proposée pour prendre en compte la fraction volumique très importante des granulats végétaux faisant de la matrice une phase de fraction faible enrobant partiellement ces granulats. Les biocomposites à base de terre crue et de granulats de tournesol étudiés montrent une forte porosité intergranulaire difficile à quantifier pour la prendre en compte dans la description de la microstructure. Il s'agit de trois mélanges développés pour l'isolation thermique des bâtiments : terre-crue écorce de tournesol, terre-moelle de tournesol, et terre-mélange écorce moelle. La comparaison des résultats numériques et expérimentaux a mis en évidence, la capacité de l'approche numérique à prédire la conductivité effective des biocomposites et les limites de l'approche à reproduire la microstructure de cette nouvelle génération de matériaux.

Mots-clefs Tournesol; biocomposite; homogénéisation numérique; VER; conductivité thermique

I. INTRODUCTION

La modélisation du comportement des matériaux à base de granulats végétaux et la prédiction de leurs propriétés effectives représente un enjeu scientifique intéressant devant leur développement important ces dernières années (Nguyen-Sy et al, 2018). Ces matériaux composites ont une microstructure complexe, et sont très différents des matériaux synthétiques où les inclusions sont noyées dans une matrice (Kumrlutas et al, 2003). Pour cette nouvelle génération de biocomposites, plusieurs paramètres influencent de manière significative les propriétés fonctionnelles : la fraction volumique très importante des granulats, leur nature, leur forme, leur taille, leur orientation spatiale et leur porosité inter et intra granulaire importante. La prédiction de leurs propriétés

macroscopiques en utilisant la méthode d'homogénéisation numérique permet de prendre en compte ces paramètres et d'évaluer leur impact sur le comportement macroscopique. L'avantage de la méthode d'homogénéisation numérique et l'utilisation d'un volume élémentaire représentatif (VER) proche de la microstructure réelle des biocomposites (Ismail et al, 2021). Néanmoins, la méthode présente également un inconvénient pour la modélisation de ces matériaux qui est l'introduction du comportement de chaque constituant du VER qui est très difficile à identifier à partir du composite, ou du constituant seul, éliminant ainsi l'interaction réelle entre les constituants.

L'objectif de cet article est de prédire les propriétés effectives thermiques des bio-composites isolants à base de terre crue et de granulats végétaux provenant de déchets agricoles. En considérant l'hypothèse des milieux périodiques, la modélisation est basée sur un volume élémentaire représentatif de la microstructure des bio-composites et le cadre théorique du logiciel éléments finis utilisé. La forme des hétérogénéités a été choisie pour respecter de manière fidèle la forme des granulats végétaux. Trois matériaux ont été considérés, à base de terre crue, d'écorce de tournesol, de moelle et d'un mélange de moelle-écorce développés dans les travaux précédents (Broard et al, 2018). La modélisation numérique et les hypothèses simplificatrices ont été ensuite vérifiées en utilisant les résultats expérimentaux de mesure de la conductivité thermique des différents bio-composites. La comparaison des résultats expérimentaux et numériques en termes de conductivité thermique permet de montrer la pertinence et en même temps les limites de la méthode d'homogénéisation numérique basée sur l'hypothèse des inclusions noyées dans une matrice continue.

II. MODELISATION PAR HOMOGENEISATION DES PROPRIETES THERMIQUES

Les matériaux étudiés ici sont des biocomposites développés (Broard et al, 2018) pour l'isolation thermique du bâti ancien très présents dans la région Centre Val de Loire. Ces matériaux biosourcés sont considérés comme des matériaux à impact environnemental faible car issus d'une ressource locale, les granulats végétaux et d'un liant de terre crue d'une carrière locale de la Rouchouse. Le rapport liant/eau et liant/granat utilisé est respectivement de 1 et 2.4.

Le tableau 1 présente, la désignation des matériaux étudiés (trois biocomposites : moelle de tournesol-argile ; écorce-argile ; écorce-moelle-argile), leurs propriétés, et les propriétés des constituants utilisés pour la modélisation.

TABLEAU 1. Matériaux étudiés et leurs propriétés, propriétés des constituants (Broard et al, 2018).

Désignation	Masse volumique des biocomposites (Kg/m ³)	Porosité des biocomposites (%)	Conductivité thermique des constituants (W/mk)	Chaleur spécifique des constituants (J/kg.k)	Masse volumique des constituants (Kg/m ³)
MA (Moelle/Argile)	235	90	0.036/0.27	1000/962	15.9/900
EA (Ecorce/Argile)	714	64	0.053/0.27	1000/962	129/900
EMA (Ecorce-Moelle/argile)	512	73	0.044/0.27	1000/962	65/900

Les propriétés de l'argile données dans le tableau 1, sont les propriétés homogénéisées à partir d'un premier calcul d'une matrice argileuse poreuse, en prenant en compte 50 % de porosité.

La méthode d'homogénéisation passe par les trois étapes classiques, la description du VER et sa génération, les conditions aux limites et de température et le calcul local, et enfin la détermination des propriétés effectives du milieu homogène équivalent à partir des relations de moyennes. Nous proposons dans cette étude d'utiliser le logiciel éléments finis DIGMAT pour réaliser la modélisation pour les trois étapes d'homogénéisation (Ismail et al, 2021). La figure 1 présente, le VER choisi pour chaque matériau en lien avec l'aspect des granulats végétaux utilisés et le biocomposite (matrice argileuse + granulats).

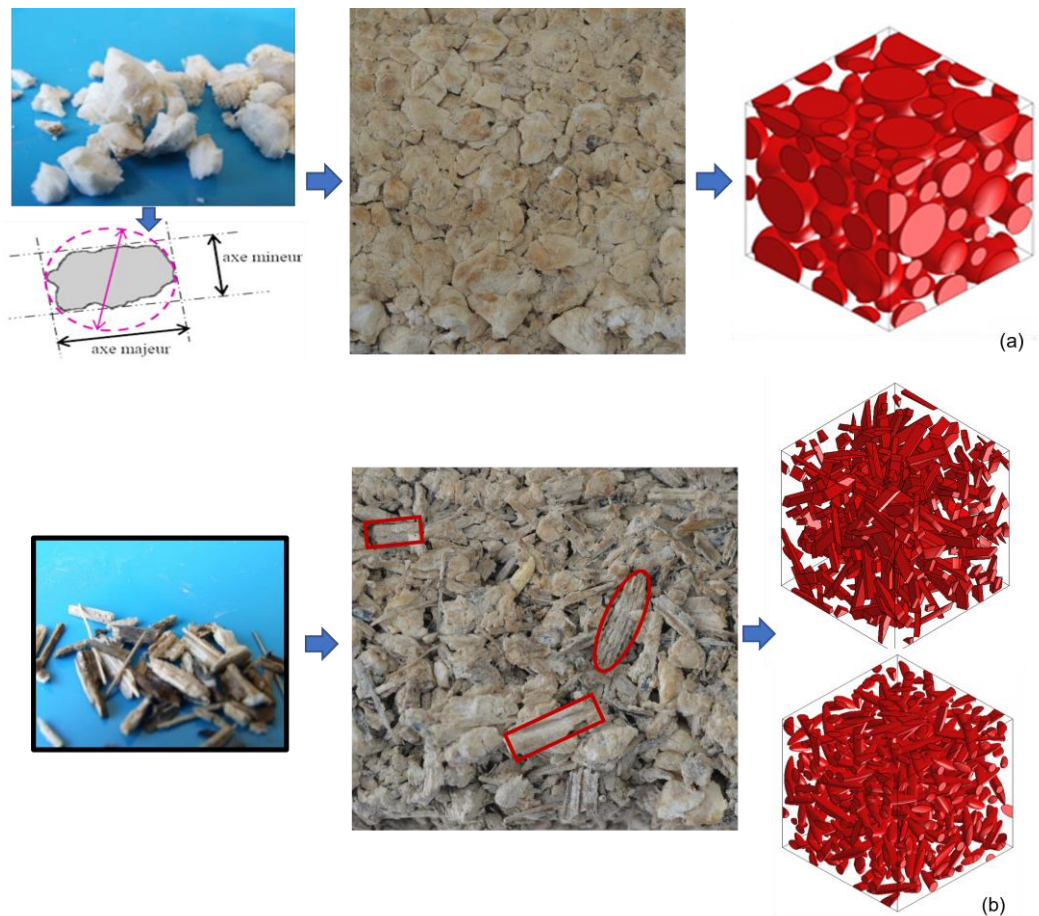


FIGURE 1. Microstructure (VER) des biocomposites de tournesol : (a) moelle de tournesol-terre crue (forme sphérique), (b) Mélange écorce moelle-terre crue (forme parallélépipédique/elliptique)

L'aspect des biocomposites montre la complexité de la microstructure, avec une porosité intergranulaire prise en compte dans le calcul de la première étape d'homogénéisation (matrice+air), et des granulats poreux enrobés. L'introduction des inclusions (granulats dans la matrice poreuse) a été réalisée en deux, trois ou quatre étapes selon le matériau (en incrémentant la fraction volumique de 20% respectivement pour les inclusions sphériques, elliptiques et parallélépipédiques). Les calculs sont ensuite réalisés en imposant un gradient de température de 20°C sur les deux faces selon l'axe Z, et des conditions périodiques sur les autres faces du VER. Un maillage tétraédrique a été utilisé pour le VER tridimensionnel.

III. RESULTATS ET DISCUSSION

La figure 2 illustre la conductivité thermique effective des biocomposites comparée avec les valeurs déterminées expérimentalement à l'état sec en utilisant la méthode du fil chaud (Broard, 2018). Cette comparaison montre un écart faible pour le composite EA (de l'ordre de 7 %), et de 20 % et 38 % respectivement pour le composite MA et EMA. Le choix du modèle conceptuel de la microstructure semble être à l'origine de cette différence et montre la pertinence d'un VER avec des inclusions elliptiques pour modéliser le mélange écorce-argile. Il est à noter, également que la prise en compte d'une porosité de 50 % dans la première étape d'homogénéisation de la matrice argileuse a un effet sur la faible différence entre les résultats numériques et expérimentaux.

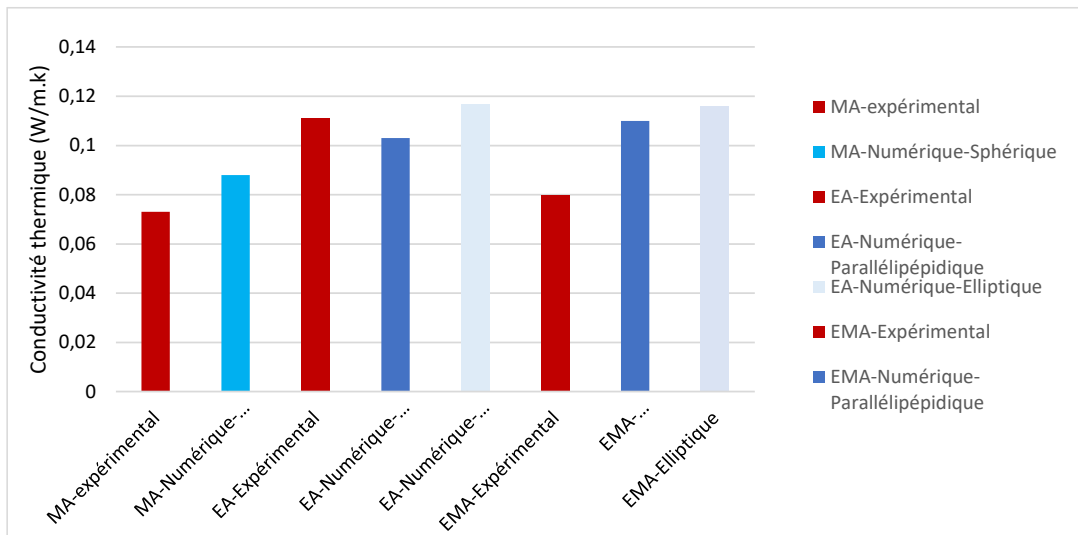


FIGURE 2. Comparaison de la conductivité thermique expérimentale et numérique

IV. CONCLUSION

La modélisation de la conductivité thermique par la méthode d'homogénéisation numérique a mis en évidence les limites des modèles conceptuels utilisés, l'influence de la forme des hétérogénéités, et la pertinence de la méthodologie pour la prédiction des propriétés des matériaux biosourcés.

REFERENCES

Broard Yoann, Naima Belayachi, Dashnor Hoxha, Naraynaswami Ranganathan, Stéphane Méo « Mechanical and hygrothermal of clay sunflower and rape straw plaster bio-composites for building insulation » *Construction and Building Materials* 161, 196-207, 2018.

Dilek Kumlutas, Ismail H. Tavman, M. Thuran Coban « Thermal conductivity of particle filled polyethylene composite materials » *Composites science and technology* 63, 113-117, 2003.

Ismail Brahim, Naima Belayachi, Dashnor Hoxha. « Modelling of thermal conductivity and nonlinear mechanical behaviour of straw insulation composite by a numerical homogenization approach ». *Journal of building engineering* 43 (2021): 103144.

<https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103144>.

T. Nguyen-Sy, A.D. Tran-Le, T. Nguyen-Thoi, T. Langlet « A multi-scale homogenization approach for the effective thermal conductivity of dry lime-hemp concrete » *Journal of building performance simulation* 11, 179-189, 2018.