

Propriétés effectives des composites bio-sourcés par une approche micromécanique

Youhui Sun¹, Wiyao Azoti^{1,2}, Hamdi Jmal¹, Nadia Bahlouli¹

1: Laboratoire ICUBE, Equipe Matériaux Multi échelles et Biomécanique MMB
 Université de Strasbourg
 2-4 rue Boussingault, F-67000 Strasbourg Cedex
 e-mail: sun.youhi@etu.unistra.fr
azoti@unistra.fr
jmal@unistra.fr
nadia.bahlouli@unistra.fr

2: ECAM Strasbourg-Europe, Département Energie
 2 rue de Madrid, F-67300 Schiltigheim Cedex
 e-mail: wiyao.azoti@ecam-strasbourg.eu

Les restrictions environnementales, liées à la nécessité d'une réduction de l'empreinte carbone, ont conduit les industriels de l'automobile vers de nouvelles solutions d'allègement de matériaux et structures. L'introduction de fibres végétales comme renforts de composites thermoplastiques a permis d'allier de bonnes propriétés mécaniques à un bon comportement au recyclage. Cependant, subsiste-t-il encore certaines limitations techniques pour ces composites bio-sourcés dont les plus évidentes étant leur résistance thermique mais aussi leur tenue au choc.

L'objectif de ce travail est de développer une approche multi-échelle intégrant les propriétés de différentes fibres végétales dans une matrice polymère thermoplastique. En effet, comme renforts, les fibres de bois ou lin auxquelles sont additionnés des co-produits de bois sont utilisées. Une matrice polymère poly-(propylène) PP est retenue pour ses qualités de recyclabilité. Une approche micromécanique basée sur un composite à trois (3) phases est alors développée.

En considérant un volume élémentaire représentatif VER, l'utilisation du schéma de Mori-Tanaka [1] basée sur l'hypothèse des inclusions ellipsoïdales d'Eshelby [2] permet d'obtenir les propriétés effectives thermomécaniques du matériau composite dans le cas d'une modélisation multi-site [3] comme suit :

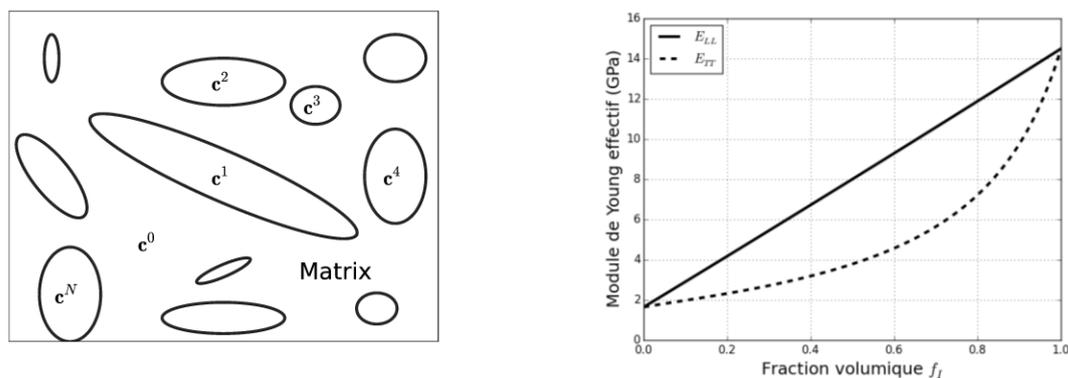
$$\begin{cases} \mathbf{C}^{eff} = \mathbf{c}^M + f \Delta \mathbf{c} : \mathbf{R}^I : \mathbf{A}^M \\ \boldsymbol{\alpha}^{eff} = (\mathbf{C}^{eff})^{-1} : \boldsymbol{\beta}^{eff} \end{cases} \quad (\text{Eq. 1})$$

avec $\boldsymbol{\beta}^{eff} = \boldsymbol{\beta}^M + f [\Delta \boldsymbol{\beta} + \Delta \mathbf{c} : (\mathbf{A}^M : \mathbf{r}^I - \mathbf{a}^M)]$. \mathbf{C}^{eff} représente les propriétés effectives élastiques pendant que $\boldsymbol{\alpha}^{eff}$ dénote le tenseur effectif des dilations thermiques. Le tenseur \mathbf{c}^M représente les propriétés élastiques de la matrice et $\Delta \mathbf{c} = \mathbf{c}^I - \mathbf{c}^M$ définit la différence de propriétés entre l'inclusion et la matrice. Les expressions des différents tenseurs de localisation en déformation élastique \mathbf{A}^M et thermique \mathbf{a}^M et des grandeurs thermiques $\boldsymbol{\beta}^M$, $\Delta \boldsymbol{\beta} = \boldsymbol{\beta}^I - \boldsymbol{\beta}^M$ peuvent être retrouvées dans les travaux de Kpobie et al. [3]. Différents types de renforts végétaux, à l'instar des particules de bois broyés, d'anas broyés, des fibres de bois et des fibres de lins, sont considérés. Les propriétés mécaniques des phases pour un composite fibres de lins/polymère PP sont données par la Table 1. La texture morphologique du renfort est caractérisée par le facteur de forme L/D .

Phases du composite	Module de Young	Coefficient de Poisson	Facteur de forme L/D
Matrice PP	1.65 GPa	0.36	-
Fibres de Lin	14.5 GPa	0.27	58

Tab. 1: Propriétés mécaniques des phases du composite fibres de lins/polymère PP

Les résultats préliminaires de l'homogénéisation sont donnés par la Figure 1. Les modules effectifs de Young E_{LL} correspondant à la direction de la fibre (L) et E_{TT} correspondant à la direction transverse (D) sont représentés en fonction de la fraction volumique des fibres.



(a) Illustration VER d'inclusions ellipsoïdales (b) Modules de Young effectif versus fraction volumique

Fig. 1: Propriétés effectives du composite fibres de lins/polymère PP

Par ailleurs, une modélisation des champs thermomécaniques avec une prise en compte du comportement non-linéaire en elasto (visco) plasticité et endommagement est envisagée. Cette étude déterminera les différents modules tangents algorithmiques des phases qui serviront de propriétés au niveau du schéma de Mori-Tanaka. Egalement, une prise en compte des imperfections interfaciales [4, 5] sera introduite par des modèles d'interfaces et d'interphases. Enfin, par le biais d'un « User-defined Material » (UMAT), des simulations numériques de test de choc et d'impact multi-axial seront réalisées.

Remerciements

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet graine « COCCY-Bio » qui s'inscrit dans une logique de développement de compounds thermoplastiques comportant une fraction significative de biomasse pour l'industrie automobile. Le projet CCCY-Bio est un projet collaboratif entre des industriels tels que PSA groupe, ADDIPLAST, COPFIMO et des laboratoires universitaires : le nôtre ICube et le laboratoire IRDL. Tous les partenaires du projet tiennent à remercier tout particulièrement l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie ADEME, le pôle de compétitivité PVDF Véhicule du Futur de la Région Alsace Franche Comté ainsi que le pôle de compétitivité IAR Industries et Agro-ressources pour avoir accepté de labelliser le projet COCCY-Bio. Nous remercions aussi la Région Grand Est pour le soutien financier apporté à ce projet.

Références

- [1] T Mori and K Tanaka. Average stress in matrix and average elastic energy of materials with misfitting inclusions. *Acta Metallurgica*, **21** (5): 571 – 574, 1973.
- [2] J. D. Eshelby. The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, **241** (1226): 376–396, 1957.
- [3] W. Kpobie, S. Ben Khelifa, N. Bonfoh, M. Fendler, and P. Lipinski. Multi-site micromechanical modelling of thermo-elastic properties of heterogeneous materials. *Composite Structures*, **94** (6): 2068–2077, 2012.
- [4] Wiyao Leleng Azoti and Ahmed Elmarakbi. Multiscale modelling of graphene platelets-based nanocomposite materials. *Composite Structures*, **168**: 313 – 321, 2017.
- [5] Wiyao Azoti and Ahmed Elmarakbi. Constitutive modelling of ductile damage matrix reinforced by platelets-like particles with imperfect interfaces: Application to graphene polymer nanocomposite materials. *Composites Part B: Engineering*, **113**: 55 – 64, 2017.