

---

# **Modélisation du comportement hygroscopique de composites lin-époxyde en vue de l'identification des coefficients de diffusion de la fibre de lin**

## *Modelling of flax-epoxy hygroscopic behaviour to identify flax fibre diffusion parameters*

**Belahcen Djellouli, Musatpaha Assarar, Wajdi Zouari et Rezak Ayad**

Laboratoire d'Ingénierie et Sciences des Matériaux (LISM EA 4695)  
Université de Reims Champagne-Ardenne (URCA) – IUT de Troyes  
9 rue de Québec CS 90396 10026 Troyes Cedex  
E-mail : [belahcen.djellouli@etudiant.univ-reims.fr](mailto:belahcen.djellouli@etudiant.univ-reims.fr)

### **1. Introduction**

L'utilisation des matériaux composites renforcés par des fibres naturelles se développe dans de nombreux secteurs industriels. En effet, les fibres naturelles présentent des propriétés mécaniques spécifiques intéressantes et de nombreux atouts si l'on s'intéresse aux impacts environnementaux [1-2]. Il s'agit de ressources renouvelables, biodégradables, neutres quant aux émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère et requérant peu d'énergie pour être produites [3]. Toutefois, la sensibilité à l'humidité des fibres naturelles reste une entrave majeure à leur développement au sein de structures exposées à des environnements humides. Plusieurs travaux de recherche ont déjà montré que l'exposition des composites à fibres naturelles à l'humidité entraîne une variation de leurs propriétés mécaniques et dynamiques [4-5]. Ainsi, la maîtrise de ces variations passe par la compréhension du comportement diffusif de ce type de composites. De ce fait, divers travaux de recherche se sont focalisés sur ces aspects en considérant ces matériaux comme étant homogènes. Cependant, peu de travaux ont abordé ces aspects en tenant compte de leur hétérogénéité. L'objectif du présent travail est d'apporter des informations supplémentaires sur les propriétés diffusives des composites lin-époxyde en les considérant comme hétérogènes. Cette démarche permet en particulier d'estimer les coefficients de diffusion longitudinal et radial de la fibre de lin par une approche inverse, basée sur une modélisation numérique par éléments finis, exploitant également les résultats expérimentaux d'absorption.

### **2. Procédure expérimentale**

Dans ce travail, le comportement hygroscopique de matériaux composites à matrice époxyde renforcée par des fibres de lin unidirectionnelles est étudié. Les fibres de lin présentent une masse surfacique de 200 g/m<sup>2</sup> avec une densité de fibre d'environ 1450 kg/m<sup>3</sup>. La résine époxyde utilisée est la SR 8100 associée à son durcisseur SD 88225. Plusieurs plaques composites lin-époxyde ont été préparées par la technique de l'infusion sous vide. Ensuite, les plaques composites ont été ensuite découpées afin d'obtenir des échantillons carrés de côté 20mm. Une partie de ces échantillons a été colmatée afin de favoriser la diffusion dans une direction privilégiée (Fig. 1). Les échantillons colmatés et non colmatés ont été complètement immergés dans l'eau douce à température ambiante jusqu'à la saturation. Durant le vieillissement, la variation de poids de chaque échantillon a été régulièrement mesurée et la quantité d'eau absorbée a été déterminée par gravimétrie.

---

---

Afin d'analyser la réversibilité du comportement diffusif des échantillons lin-époxyde, plusieurs cycles de vieillissement hydrique/séchage ont été également conduits en considérant les configurations de la figure (Fig. 1).

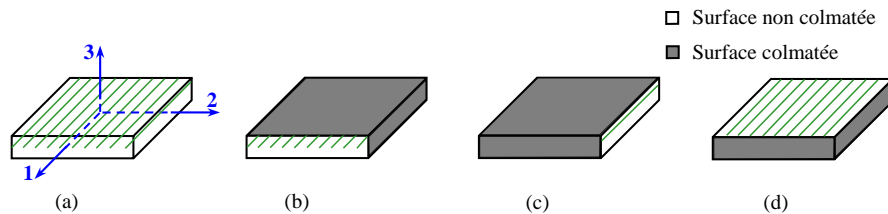


Fig. 1. Les directions de diffusion dans les échantillons : a) non colmatés ; b), c), d) colmatés

### 3. Modélisation du comportement hygroscopique

Pour simplifier, une modélisation plane de la diffusion d'eau des différentes configurations de la figure ci-dessus (Fig. 1) est considérée en tenant compte de l'hétérogénéité des échantillons lin-époxyde. Cette modélisation est effectuée à l'aide du logiciel commercial Abaqus en considérant une analyse de type « mass diffusion » qui permet de suivre l'évolution de la diffusion d'eau dans l'espace temporel (temps d'immersion) et dimensionnel (dimensions de l'échantillon). Pour modéliser la diffusion d'eau au sein des échantillons lin-époxyde, nous avons besoin des coefficients de diffusion de la résine époxyde et de la fibre de lin. Le coefficient de diffusion de la résine époxyde est déduit de sa courbe d'absorption d'eau expérimentale. Pour la fibre de lin, il convient de rappeler qu'il est relativement difficile de déterminer expérimentalement ses coefficients de diffusion radial et longitudinal. Une première approximation de ces coefficients a été déduite du modèle d'Halpin-Tsai en considérant les coefficients de diffusion macroscopiques des échantillons lin-époxyde. Ensuite, pour décrire correctement les courbes d'absorption obtenues à partir du protocole expérimental (Fig. 1), trois combinaisons des coefficients de diffusion de la résine époxyde et de la fibre de lin sont testées pour chaque configuration. Dans la première, le coefficient de diffusion de la résine est fixé et ceux de la fibre de lin sont modifiés. Pour la deuxième combinaison, nous varions le coefficient de diffusion de la résine en fixant ceux de la fibre de lin. Pour la troisième combinaison, les coefficients de diffusion de la fibre de lin et de la résine époxyde varient simultanément. Cette démarche permet ainsi de déduire par une approche inverse les coefficients de diffusion longitudinal et radial de la fibre de lin. Cette démarche d'analyse inverse est également considérée pour les essais de vieillissement-séchage pour évaluer l'impact de l'endommagement, dû à l'absorption d'eau, sur les paramètres de diffusion de la fibre de lin et de la matrice époxyde.

### Références :

- [1] Pervaiz M. & Sain MM. Carbon storage potential in natural fibre composites Resources, Conservation and Recycling, 39: 325–340 (2003).
  - [2] Wambua P., Ivens J., Verpoest I. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics?, Composites Science and Technology, 63:1259–1264 (2003).
  - [3] Joshi S.V., Drzal L.T., Mohanty A.K., Arora S. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?, Composites: Part A, 35: 371–376 (2004).
  - [4] Assarar M., Scida D., El Mahi A., Poilâne C., Ayad R. Influence of water ageing on mechanical properties and damage events of two reinforced composite materials: Flax-fibres and glass-fibres, Materials and Design, 32: 788–795 (2011).
  - [5] Cheour K., Assarar M., Scida D., Ayad R., Gong X.L, Effect of water ageing on mechanical and damping properties flax-fibre reinforced composite materials, Composites
-

