

Comportement hygroscopique multi-échelles de composites renforcés par des fibres de lin

Ziad El Hachem¹, Amandine Céline¹, Georges Challita², Sylvain Fréour¹

1 : Institut de Recherche en Génie Civil et Mécanique (UMR CNRS 6183)
Université de Nantes, Centrale Nantes
58 rue Michel Ange, F-44600 Saint-Nazaire
ziad.el-hachem@univ-nantes.fr

2 : Centre de Recherche Scientifique en Ingénierie (CRSI) Equipe MMC
Université Libanaise
Faculté de Génie, Campus Roumieh, Liban
georges.challita@ul.edu.lb

Dans le domaine des matériaux composites, les fibres végétales représentent une bonne alternative aux fibres de verre pour le renforcement de matrices polymériques. Il s'agit d'une ressource naturelle renouvelable et biodégradable possédant de très bonnes propriétés mécaniques spécifiques [1]. Les matériaux bio-composites ont des applications prometteuses dans le secteur de l'automobile, des sports et loisirs, ainsi que dans le domaine du nautisme. Cependant, il existe encore quelques obstacles qui ralentissent leur développement à grande échelle. En particulier, la question de leur durabilité est souvent mise en avant. En effet, en milieu humide, les fibres d'origine végétales absorbent jusqu'à 20 % en masse d'eau, ce qui provoque, d'une part, un gonflement hygroscopique et, d'autre part, une évolution de leurs propriétés mécaniques et physico-chimiques, entre autres [2-3]. A l'échelle du composite, il y a donc diffusion d'humidité dans les deux matériaux constitutifs (les fibres et la matrice) avec potentiellement deux lois de diffusion et des capacités maximales d'absorption très différentes. Ceci favorise l'apparition de contraintes internes multi-échelles dépendant des facteurs suivants : distribution de la teneur en eau en fonction de l'épaisseur, propriétés des différents constituants, morphologie, type d'empilement [4]. Pour appréhender ces différents phénomènes, il est intéressant, dans un premier temps, d'analyser le comportement purement hygroscopique du matériau aux différentes échelles. Ceci constitue l'objectif du travail présenté dans le cadre de cette conférence. Pour cela, différents bio-composites PP/lin avec et sans agent couplant et contenant différents taux de fibres ont été vieillies dans des conditions d'humidité contrôlée. Les constituants (fibres de lin et matrice polymérique) ont également été conditionnés en environnement humide.

Les matériaux élaborés sont des composites unidirectionnels à matrice thermoplastique polypropylène (PP) renforcée par des fibres de lin. La fraction volumique de fibres est variable. Deux fractions volumiques ont été retenues : 20 et 40 % (nommés respectivement PPlin_20 et PPlin_40). De plus, afin d'étudier l'effet de l'interface fibre/matrice sur l'absorption d'humidité, des composites ayant les mêmes fractions volumiques de fibres et contenant de l'anhydride maléique (Ma) greffé au polypropylène ont été étudiés. Des éprouvettes de résine pure (avec et sans agent couplant) ont également été mises en œuvre. Des campagnes de vieillissement humide ont été lancées sur les différents matériaux, pour identifier le comportement diffusif des composites, de la matrice, et des fibres de lin, d'une part, et pour mieux comprendre l'effet de l'agent couplant sur le processus de diffusion des matériaux bio-composites, d'autre part. En pratique, ces matériaux (composites et matrice pure) ont été placés dans des armoires contrôlées en humidité relative (HR) par l'intermédiaire de sels hygroscopiques : 75 % HR (NaCl) et 95 % HR (K₂SO₄), à une température ambiante de 22°C. Des relevés gravimétriques ont été effectués tout au long du vieillissement humide des matériaux. Ces données ont été exploitées pour tracer les cinétiques de diffusion des matériaux à partir de leurs teneurs en eau macroscopiques calculées expérimentalement. Pour le cas des fibres de lin, des essais en DVS (Dynamic Vapor Sorption) ont été réalisés à différentes conditions d'humidité relative (de 10 à 95 % HR). Ceci a permis de retracer leur isotherme de sorption.

Les cinétiques d'absorption obtenues pour les composites et la matrice polymérique sont présentées sur la figure 1. Le tableau 1 regroupe les capacités maximales d'absorption atteintes pour les différentes éprouvettes testées (composite, matrice pure et fibres de lin). Premièrement, on observe que l'ajout de fibres de lin dans une matrice polypropylène augmente de façon très significative la reprise en eau du matériau et d'autant plus que la fraction

volumique de fibres augmente. D'autre part, la comparaison des cinétiques de diffusion d'un même type d'éprouvette dans les deux environnements humides montre que la teneur en eau absorbée augmente nettement entre 75 % et 95 % HR. Les essais réalisés en DVS à l'échelle des fibres montrent qu'une telle augmentation est également observée à partir d'une humidité relative de 70 %. Enfin, l'utilisation de l'anhydride maléique entraîne une diminution de la teneur en eau absorbée.

Les cinétiques de diffusion présentées, sont caractéristiques d'une diffusion à deux phases et peuvent être modélisées par une loi de « Dual Fick ». A partir des données expérimentales, les paramètres de la loi de diffusion ont été identifiés. Ces derniers sont utiles pour la représentation de la distribution de la teneur en eau locale dans l'épaisseur du matériau nécessaire à la simulation numérique du gonflement différentiel.

En comparant les teneurs en eau atteintes expérimentalement par les composites et celles prédites par une loi des mélanges classique (tableau 1), on remarque que les valeurs prédites surestiment la teneur en eau à saturation réellement absorbée. Ceci pourrait montrer que la matrice polymérique exerce un effet de confinement significatif sur l'absorption d'humidité : la capacité maximale d'absorption des fibres de lin est ainsi diminuée lorsque celles-ci sont incluses dans la matrice polymérique.

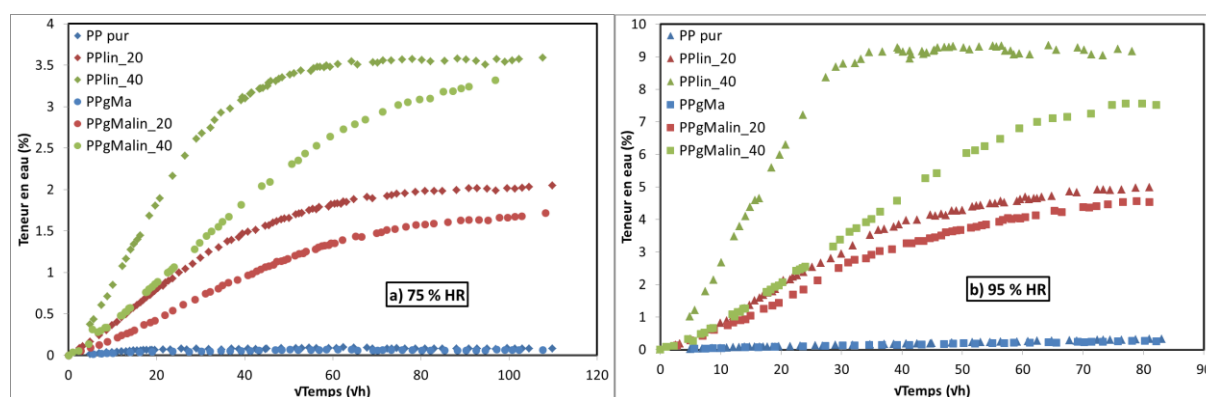


Fig. 1: Comparaison des cinétiques de diffusion des composites et de la matrice polymérique (a) HR = 75%, (b) HR = 95%

Type de matériau	HR= 75 %		HR=95 %	
	Expérimental	modèle	Expérimental	modèle
PPlin20	1,99±0,07	2,50	4,91±0,15	10,37
PPlin 40	3,55±0,01	4,92	9,15±0,17	20,35
PPgMalin20	1,63±0,06	2,48	4,53±0,43	10,32
PPgMalin40	3,10±0,21	4,90	7,52±0,19	20,31
PPpur	0,08±0,00		0,39±0,00	
PPgMa	0,06±0,00		0,32±0,01	
lin	12,17		50,30	

Tab. 1 : Capacité maximale d'absorption (en %) des différents matériaux testés

Références

- [1] A.-K. Bledzki et J. Gassan, Prog. Polym. Sci. **24**, 221-274 (1999).
- [2] A. Céline, S. Fréour, F. Jacquemin et P. Casari, J. Appl. Polym. Sci. **130**, 297-306 (2013).
- [3] V. Placet, O. Cisse et L. Boubakar, J. Mater. Sci. **47**, 3435-3446 (2012).
- [4] F. Jacquemin, S. Fréour et R. Guillén, J. Reinf. Plast. Compos. **24**, 485-502 (2005).