

# Etude du transfert radiatif dans les matériaux composites semi-transparents à différentes températures

Florent RETAILLEAU<sup>1,2\*</sup>, Vadim ALLHEILY<sup>1</sup>, Lionel MERLAT<sup>1</sup>, Jean-François HENRY<sup>2</sup> & Jaona RANDRIANALISOA<sup>2</sup>

## Introduction

Les matériaux composites sont aujourd'hui incontournables dans de nombreux domaines grâce à leurs caractéristiques techniques (légèreté, solidité, rigidité) et à la réduction des coûts de production. Dans plusieurs applications (aéronautique, défense, spatiale, biomédicale, etc.), il est nécessaire de connaître le comportement de ce type de matériaux face à une contrainte thermique d'origine radiative. L'objectif est de mieux comprendre la propagation d'un flux lumineux au sein d'un matériau composite semi-transparent diffusant avec des interfaces rugueuses en identifiant les propriétés radiatives volumiques et surfaciques propres au matériau à différentes températures allant de 20°C à 200°C. L'étude se concentre sur le transfert radiatif dans le visible et le proche infrarouge.

Les matériaux utilisés dans la présente étude sont des composites stratifiés de qualité aéronautique à base d'époxy et renforcés par des fibres de verre. Ce type de matériau est composé de plusieurs couches de fibres, appelées plis, qui s'empilent avec des orientations variables comme le montre la vue en coupe obtenue par microscope électronique à balayage (Figure 1).

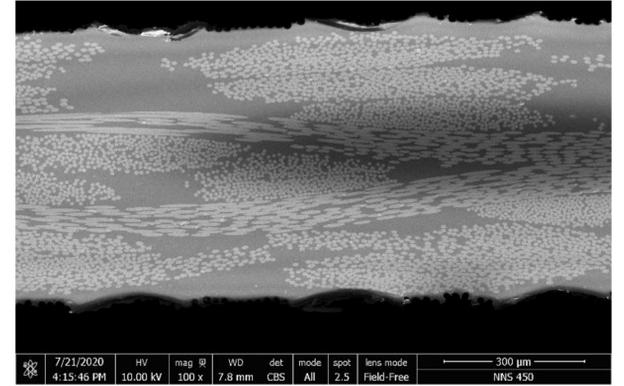
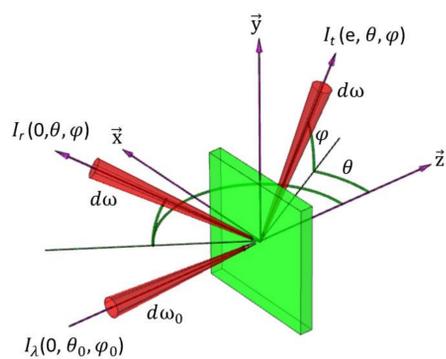


Figure 1 : Vue en coupe d'un échantillon composite verre/époxy de 0,76 mm d'épaisseur (4 plis).

## Méthode

### Mesures bidirectionnelles en température

Un spectrophotomètre équipé d'un détecteur monté sur un goniomètre et d'un porte échantillon chauffant pouvant atteindre 250°C permet d'obtenir les mesures bidirectionnelles de transmittance  $\tau''$  et de réflectance  $\rho''$  à différentes températures.



$$\rho''(\theta, \varphi) = \frac{I_r(0, \theta, \varphi)}{I_0 \cos \theta_0 \cdot \max(d\omega_0, d\omega)}$$

$$\tau''(\theta, \varphi) = \frac{I_t(e, \theta, \varphi)}{I_0 \cos \theta_0 \cdot \max(d\omega_0, d\omega)}$$

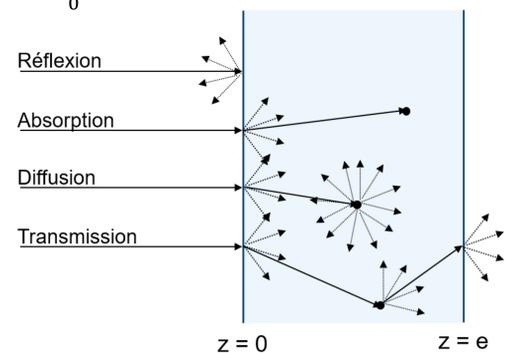
### Identification des propriétés radiatives

Identification des propriétés radiatives volumiques et surfaciques à partir des données expérimentales et théoriques via la méthode de Gauss-Newton.

Equation du transfert radiatif (ETR) dans un milieu sans émission propre :

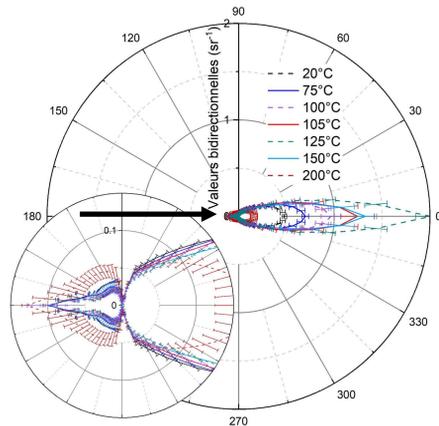
$$\frac{\partial I_\lambda(s, \theta, \varphi)}{\partial s} = -(\kappa_\lambda + \sigma_\lambda) I_\lambda(s, \theta, \varphi) + \frac{\sigma_\lambda}{4\pi} \int_0^{4\pi} \phi_\lambda(\theta, \varphi, \theta', \varphi') I_\lambda(s, \theta, \varphi) d\omega'$$

Résolution de l'ETR et obtention des valeurs théoriques via la méthode de Monte Carlo.

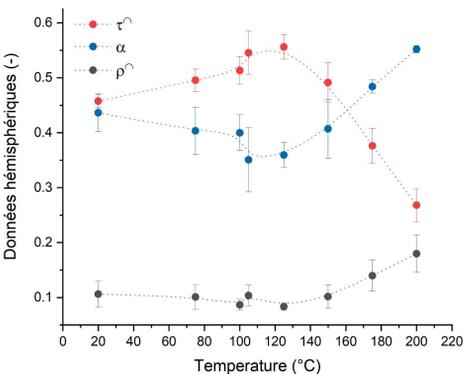


## Résultats

### Mesures à $\lambda = 1,07 \mu\text{m}$



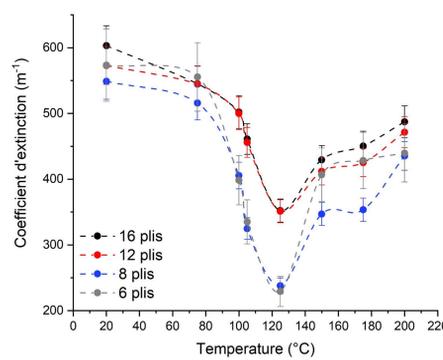
Réflectances et transmittances bidirectionnelles d'un échantillon composite de 3 mm d'épaisseur (16 plis) à différentes températures. La flèche noire représente le flux radiatif incident et la température de l'échantillon est considérée comme homogène.



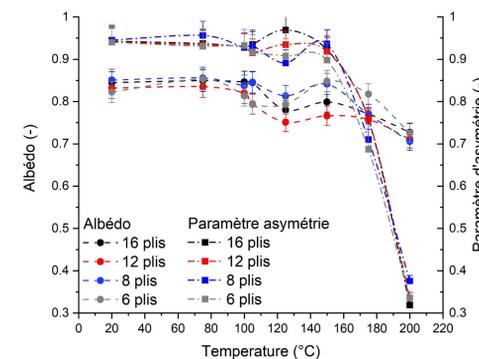
Réflectance hémisphérique  $\rho^h$ , transmittance hémisphérique  $\tau^h$  et absorptance  $\alpha$  du même échantillon à différentes températures.

Ces deux types de mesure permettent de rendre compte de l'influence de la température du milieu sur le comportement radiatif du composite.

### Identification à $\lambda = 1,07 \mu\text{m}$



Le coefficient d'extinction caractérise l'intensité des interactions dans le milieu. Il a été mesurée ici pour 4 épaisseurs : 16, 12, 8 et 6 plis, respectivement 3, 2.2, 1.4 et 1 mm. Ce coefficient semble minimum autour de la température de transition vitreuse du polymère ( $\approx 120^\circ\text{C}$ , préalablement mesurée par DSC) et explique la hausse de transmission.



L'albédo caractérise la probabilité de diffusion après extinction dans le milieu. Le paramètre d'asymétrie est lié à la fonction de phase de Henyey & Greenstein, et caractérise la distribution du lobe de diffusion. Ces deux paramètres sont relativement stables jusqu'au début de la dégradation thermique du milieu à partir de 150°C lorsque le matériaux s'opacifie.

## Conclusion

- Cette étude met en évidence influence significative de la température sur les propriétés volumétriques de diffusion de composites fibre de verre et résine époxy.
- La transition vitreuse semble être la cause d'un changement marqué de comportement radiatif.
- Un modèle d'identification utilisant la méthode de Gauss-Newton permet d'identifier les propriétés radiatives volumétriques de matériaux composites semi-transparents et rugueux en fonction de la température.