



**HAL**  
open science

# Analysis of the impact of porosity formation on the thermomechanics of a thermoplastic composite during the thermal decomposition of its matrix

David Philippe, Benoit Vieille, Fabrice Barbe

## ► To cite this version:

David Philippe, Benoit Vieille, Fabrice Barbe. Analysis of the impact of porosity formation on the thermomechanics of a thermoplastic composite during the thermal decomposition of its matrix. JNC23 - Journée Nationales sur les Composites 2023, Jul 2023, Besançon, France. hal-04507771

**HAL Id: hal-04507771**

**<https://hal.science/hal-04507771>**

Submitted on 17 Mar 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## **Analyse de l'impact de la formation de porosités sur la thermomécanique d'un composite thermoplastique durant la décomposition thermique de sa matrice**

### *Analysis of the impact of porosity formation on the thermomechanics of a thermoplastic composite during the thermal decomposition of its matrix*

**David Philippe, Benoit Vieille et Fabrice Barbe**

Groupe de Physique des Matériaux  
Normandie Univ, INSA Rouen, UNIROUEN, CNRS  
76000 Rouen

e-mail : david.philippe@insa-rouen.fr, benoit.vieille@insa-rouen.fr et fabrice.barbe@insa-rouen.fr

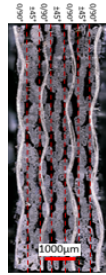
Durant leur utilisation, les structures aéronautiques composées de matériaux composites peuvent être soumises à d'extrêmes expositions thermiques, telles qu'une flamme impactante lors d'un incendie. L'augmentation de température (jusqu'à 1150°C selon les standards FAA) induit une dégradation des propriétés thermomécaniques des stratifiés pouvant entraîner une défaillance de la structure de l'aéronef. Il est donc nécessaire de comprendre les effets du couplage entre les transferts thermiques et la réponse mécanique afin d'éviter des conséquences tragiques [1, 2]. Cette étude expérimentale et numérique vise à comprendre le comportement de stratifiés quasi-isotropes (QI) et  $\pm 45^\circ$ , à base de matrice thermoplastique (polyphénylène sulfide ou PPS) renforcée de fibres de carbone, pour des températures dépassant le seuil de la décomposition thermique du PPS ( $T > 450^\circ\text{C}$ ). Durant le processus de décomposition thermique, la matrice polymère est progressivement pyrolysée, se transformant alors en gaz de pyrolyse et en résidu carboné [3]. Cela entraîne la nucléation ainsi que la croissance de porosités gazeuses au sein du stratifié, induisant une pression interne menant à une croissance du matériau. L'objectif est de caractériser expérimentalement les phénomènes de formation de porosités afin de développer un modèle numérique prenant en compte l'influence de l'augmentation de la température sur la décomposition de la matrice reflétant l'état de dégradation du stratifié [4]. Afin d'atteindre cet objectif, l'état de décomposition thermique a été quantifié en terme de fraction volumique de porosité  $\eta_p$  au sein du stratifié (calculée à partir de l'augmentation du volume et de la perte de masse). Des observations qualitatives des phénomènes ont également été effectuées au microscope optique et par tomographie par rayons X (Fig. 1).

$\eta_p$  ainsi que les variations d'épaisseurs ont été déterminés pour différents temps / températures en conditions de température homogènes dans un four. Le modèle numérique 3D par Eléments Finis proposé permet de reproduire la fraction volumique de porosités au sein du matériau composite. La taille du modèle a été limitée à un volume élémentaire afin de limiter les temps de calcul (Fig. 2). Une échelle mésoscopique représentant explicitement la matrice et les torons permet de reproduire les changements structuraux locaux, les éléments de matrice se transformant en éléments de porosité et une pression interne étant appliquée afin de reproduire le gonflement. Les observations expérimentales ont montré un caractère aléatoire dans la localisation de la nucléation des porosités. Cela a mené à décrire le phénomène de nucléation à travers une loi de probabilité : chaque élément de matrice possède une probabilité de se transformer en porosité en fonction du temps et de sa température.

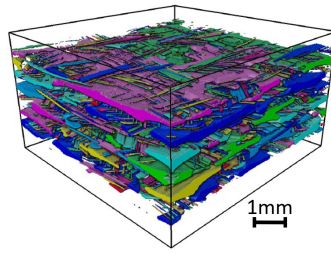
L'identification des paramètres du modèle dans des conditions de température homogènes a mené à des simulations prédictives du scénario d'incendie en introduisant un flux thermique

---

appliqué au modèle et en prenant en compte les échanges thermiques avec l'extérieur (convection, rayonnement) (Fig. 3). Les résultats numériques seront comparés à des résultats expérimentaux obtenus avec un brûleur kérosène afin d'évaluer les capacités de prédiction du modèle. Ce modèle sera davantage développé afin d'estimer l'impact de la dégradation des propriétés et des altérations structurales sur la réponse thermomécanique du stratifié composite.



(a)



(b)

FIG. 1. – Observations de stratifiés QI décomposés thermiquement à 530°C pendant 7min (a) microscope optique (b) tomographie rayon X

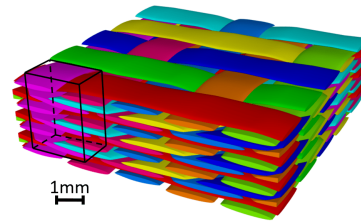


FIG. 2. – Volume élémentaire du QI sélectionné

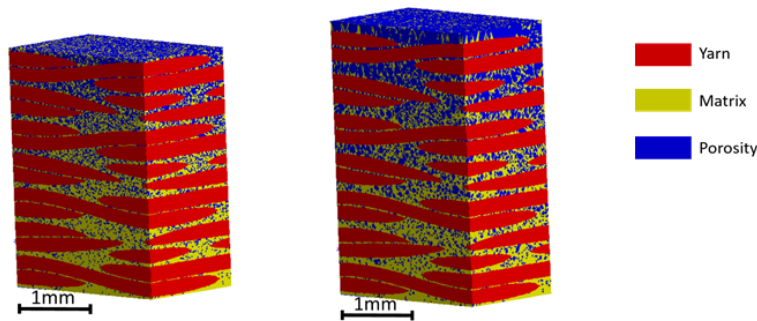


FIG. 3. – Modélisation du gradient de décomposition thermique de stratifiés C/PPS QI soumis à un flux thermique de 120kW/m<sup>2</sup> pendant 90s (a) sans gonflement (b) avec gonflement

## Références

- [1] Y. Carpiert, B. Vieille, A. Coppalle, F. Barbe « Study of thermomechanical coupling in carbon fibers woven-ply reinforced thermoplastic laminates : Tensile behavior under radiant heat flux », *Polymer Composites* Vol. 41 n° 9, pp. 3552–3563, 2020.
- [2] Y. Carpiert, A. Alia, B. Vieille, F. Barbe « Experiments based analysis of thermal decomposition kinetics model. Case of carbon fibers PolyPhenylene Sulfide composites », *Polymer Degradation and Stability* Vol. 186, pp. 109525, 2021.
- [3] A. Mouritz, A. G. Gibson, *Fire Properties of Polymer Composite Materials*, vol. 143 of *Solid Mechanics and Its Applications*, Springer, 2006.
- [4] Y. Carpiert, B. Vieille, F. Barbe, A. Coppalle « Meso-structure-based thermomechanical modelling of thermoplastic-based laminates subjected to combined mechanical loading and severe thermal gradients », *Composites Part A : Applied Science and Manufacturing* Vol. 162, pp. 107–165, 2022.