

**ESTIMATION DES CONTRAINTES RESIDUELLES  
THERMOHYGROELASTIQUES DANS DES COMPOSITES STRATIFIES ET  
INFLUENCE SUR LEUR ENDOMMAGEMENT INITIAL**

**INVESTIGATION OF HYGROTHERMAL RESIDUAL STRESSES IN  
COMPOSITE LAMINATES AND THEIR CONSEQUENCES ON THE  
DAMAGE ONSET**

David Lévêque, Anne Mavel et Philippe Nunez

ONERA  
BP 72 – 92322 Châtillon Cedex  
e-mail : [David.Leveque@onera.fr](mailto:David.Leveque@onera.fr)

**RESUME**

Dans ce travail les contraintes résiduelles de fabrication présentes dans des stratifiés initialement symétriques ont été estimées expérimentalement à partir de la mesure des courbures de bilames créés par abrasion des plis supérieurs de ces stratifiés. Le matériau étudié est un carbone/époxy (T700GC/M21). Il est apparu qu'un modèle thermoélastique permettait de remonter aux courbures expérimentales à condition de prendre un  $\Delta T$  équivalent inférieur au  $\Delta T$  réel (-120°C au lieu des -160°C théoriques, si l'on considère la température finale de cuisson comme la température d'annulation des contraintes thermiques). Cette différence ne semble pas être due à une relaxation mécanique des plis mais semble cohérente avec la présence d'humidité identifiée à l'état initial de nos stratifiés. Un modèle thermohydroélastique permet d'obtenir ainsi des courbures cohérentes avec l'expérience avec un  $\Delta T$  équivalent proche de -160°C et d'estimer au mieux les contraintes résiduelles présentes dans les différents stratifiés, ce qui est primordial pour bien appréhender l'apparition des premières fissures de pli.

**ABSTRACT**

Thermal residual stresses in initially symmetrical composite laminates were experimentally investigated from curvature measurement of non-symmetrical coupons created by polishing of a part of the superior plies. The composite system used is a carbon fibers/ epoxy matrix one (T700GC/M21). The use of a thermo-elastic model leads to identify an equivalent  $\Delta T$  (-120°C) inferior to the true  $\Delta T$  (-160°C in theory if we consider the cure temperature as the temperature where the residual stresses are null). This difference doesn't seem to be due to stress relaxation of the plies but is coherent with humidity content identified in our laminates. Good curvature values are finally obtained with a hygro-thermo-elastic model and an equivalent  $\Delta T$  close to -160°C. This model gives a better estimate of the residual stresses and then of the damage onset threshold.

**MOTS CLES : CONTRAINTES RESIDUELLES – IDENTIFICATION – COMPORTEMENT  
HYGROTHERMIQUE – ENDOMMAGEMENT – CARBONE/EPOXY**

**KEYWORDS : RESIDUAL STRESSES – IDENTIFICATION – HYGROTHERMAL  
BEHAVIOR – DAMAGE – CARBON/EPOXY**