

Caractérisation par émission acoustique quantitative de la rupture de fibre dans un composite modèle carbone/époxy

Characterization of fiber break by quantitative acoustic emission in a model composite carbon/epoxy

Zeina Hamam¹, Nathalie Godin¹, Claudio Fusco¹ and Thomas Monnier²

**1 Univ Lyon, INSA de Lyon, MATEIS UMR 5510, F-69621 Villeurbanne, France.
Zeina.hamam@insa-lyon.fr, nathalie.godin@insa-lyon.fr, claudio.fusco@insa-lyon.fr**

**2 Univ Lyon, INSA-Lyon, LVA EA677, F-69621, Villeurbanne, France.
Thomas.monier@insa-lyon.fr**

Les matériaux composites sont de plus en plus utilisés pour des applications longue durée, ce qui rend, dans ce contexte, nécessaire d'identifier leurs mécanismes d'endommagement afin de prévoir leur durée de vie résiduelle. Cette approche repose sur une phase de diagnostic de l'état de santé et sur une phase de pronostic. La technique d'émission acoustique (EA) est bien adaptée pour répondre à cette problématique en permettant la détection, la localisation en temps réel de l'endommagement et l'évaluation de sa sévérité. Des modèles orientés données peuvent ensuite être construits afin d'estimer la durée de vie résiduelle.

De nombreuses études ont montré qu'il est possible de relier chaque signal d'EA au mécanisme d'endommagement (rupture de fibre, fissuration matricielle, décohésion fibre/matrice, délaminage, etc.) qui lui a donné naissance. Cependant, la signature acoustique n'est pas universelle, mais elle dépend fortement du matériau, de la structure, des capteurs et du système d'acquisition. Dans l'analyse de EA qualitative, la propagation et les altérations du signal ne sont pas prises en compte.

Une approche quantitative est nécessaire afin de fiabiliser l'utilisation de l'EA et de donner de la robustesse au diagnostic et au pronostic.

L'objectif de ce travail est de quantifier l'influence du milieu de propagation et du capteur sur le signal acoustique lié à la rupture d'une fibre unitaire, via une simulation par éléments finis réalisée à l'aide du logiciel ABAQUS®. Un composite modèle constitué d'une seule fibre de carbone dans une matrice époxy a été considéré pour cette étude. La géométrie de l'éprouvette a été modélisée en 3D. Les calculs sont effectués en dynamique avec un pas de temps de 0.1 μ s. Le comportement mécanique de la fibre est élastique, celui de la matrice élasto-plastique. L'atténuation est prise en compte par les coefficients de Rayleigh. La rupture de la fibre est modélisée par la séparation des nœuds appartenant aux deux surfaces de rupture de la fibre. L'effet capteur est introduit grâce à une fonction de transfert basée sur la sensibilité des capteurs en réception mesurée par la méthode de réciprocité. Différents capteurs sont considérés dans cette étude, allant du capteur ponctuel parfait à des capteurs extrêmement résonnants.

Nous avons aussi effectué des essais expérimentaux de multi-fragmentation sur un composite mono-filamentaire fibre carbone dans une matrice époxy/amine.

Sur les signaux numériques ou expérimentaux, un certain nombre de descripteurs dans le domaine temporel et dans le domaine fréquentiel sont calculés.

Dans un premier temps, les données expérimentales enregistrées lors des essais de multi-fragmentation de fibre ont permis de valider le modèle numérique (Fig. 1). De plus, l'analyse des données expérimentales met clairement en évidence le rôle crucial du capteur sur la signature acoustique (Fig. 2a).

Dans un deuxième temps, une étude paramétrique a été réalisée afin de quantifier l'impact de l'épaisseur de l'éprouvette ($e = 1 \text{ mm}$, 1.5 mm et 2.7 mm), de la position de la fibre dans l'épaisseur (fibre excentrée, fibre centrée), de la distance source-capteur, de la nature de la matrice. L'effet du capteur et de sa position sur le signal d'EA est aussi investigué.

En analysant le déplacement en un seul nœud (concept d'un capteur ponctuel parfait) des informations sur le signal dit « primitif » sont obtenues (au plus près de la source et sans effet capteur). En analysant les déplacements sur la surface de l'éprouvette en s'éloignant de l'épicentre de la source, l'influence de la distance-source est clairement mise en évidence (Fig.2b). L'examen des caractéristiques du signal simulé peut permettre d'optimiser le choix du capteur, sa position et de déterminer les descripteurs pertinents. La connaissance de la dépendance des descripteurs avec la distance source-capteur offre des perspectives intéressantes afin de corriger le signal expérimental.

De plus, l'étude paramétrique a permis de générer une bibliothèque de signaux numériques caractéristiques de la rupture de la fibre pour des configurations différentes. Ces signaux virtuels d'EA pourront être utilisés en complément de données expérimentales afin de construire des bibliothèques pour des approches de prévision de durée vie basées sur des méthodes d'apprentissage automatique.

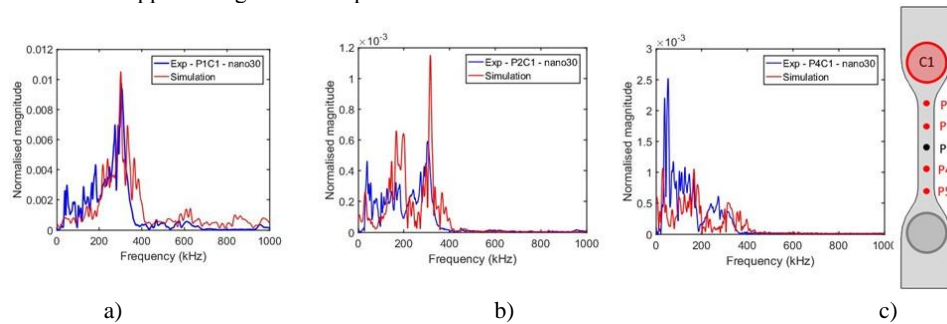


Fig. 1. Comparaison de la transformée de Fourier du signal numérique (en rouge) et du signal expérimental (en bleu) pour trois positions de rupture de fibre (P1 : 6 mm, P2 : 13 mm et P4 : 27 mm) enregistrées par un capteur nano30.

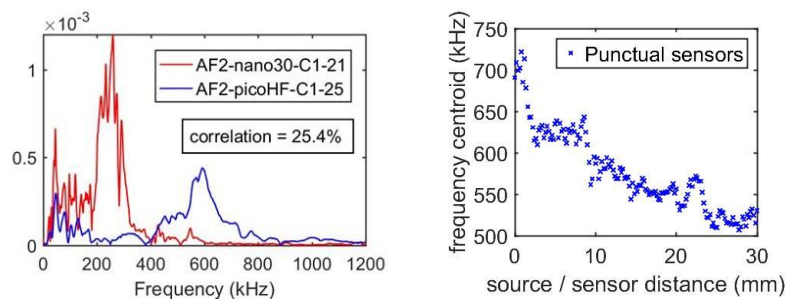


Fig. 2. a) Comparaison de la transformée de Fourier du signal expérimental enregistré par un capteur de type nano 30 et un capteur de type PicoHF pour la même rupture de fibre. b) Evolution du descripteur barycentre fréquentiel pour un signal numérique enregistré par un capteur ponctuel parfait en fonction de la distance source capteur, en s'éloignant de l'épicentre de la source.