HAL
open science

Modélisation de l'Emission Acoustique : aide à l'identification de paramètres pertinents pour décrire l'endommagement des matériaux composites

Gall, Thomas Le, Nathalie Godin, Claudio Fusco, Thomas Monnier

To cite this version:

Gall, Thomas Le, Nathalie Godin, Claudio Fusco, Thomas Monnier. Modélisation de l'Emission Acoustique : aide à l'identification de paramètres pertinents pour décrire l'endommagement des matériaux composites. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. hal-03444707

HAL Id: hal-03444707

https://hal.science/hal-03444707v1

Submitted on 23 Nov 2021

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.

Modélisation de l'Emission Acoustique : aide à l'identification de paramètres pertinents pour décrire l'endommagement des matériaux composites

T. LE GALL[1], N. GODIN[1], T. MONNIER[2], C. FUSCO[1]

1 : INSA de Lyon, MATEIS UMR5510, F-69621 Villeurbanne, France
2 : INSA de Lyon, LVA EA 677, F-69621 Villeurbanne, France

Résumé :

L'Emission Acoustique (EA) est une méthode d'évaluation et de caractérisation non destructive particulièrement bien adaptée pour identifier la cinétique des différents mécanismes d'endommagement dans les matériaux composites. Le but de cette étude est de quantifier l'impact du milieu de propagation notamment de la géométrie sur les caractéristiques du signal d'EA afin de déterminer les descripteurs pertinents, images du mécanisme d'endommagement. Pour cela une modélisation allant de la source au signal enregistré est effectuée à l'aide du code d'éléments finis ABAQUS® pour différentes géométries allant du mini composites à la pièce semi-technologique

Abstract :

Acoustic Emission (AE) testing is a non-destructive evaluation method which is especially suited for structural health monitoring in composite materials in order to identify the acoustic signatures of several damage mechanisms. The objective of the present study is to quantify the impact of the propagation media, particularly the samples geometry, on AE signal's characteristics. As a consequence, it will be easier to determine which parameters are the most relevant to describe the damage mechanism. For this purpose, using finite element simulation software ABAQUS®, sources representing AE sources were generated inside the material for geometry ranging from mini-composite to technological devices.

Mots clefs : Composites, émission acoustique, endommagement, modélisation

1 Introduction

Les matériaux composites étant de plus en plus utilisés pour des applications longue durée, il est nécessaire de connaître leurs mécanismes d'endommagement afin de prévoir leur durée de vie [1]. Permettant de détecter en temps réel les mécanismes d'endommagement, la technique d'émission acoustique (EA) apparait alors comme bien adaptée pour répondre à cette problématique. En effet, les évènements se produisant au niveau microscopique (rupture de fibre, fissuration matricielle, décohésion fibre/matrice, délaminage, etc.) donnent naissance à une onde élastique qui se propage jusqu'à la surface du matériau. En y positionnant un capteur, il est alors possible de mesurer le déplacement engendré par la propagation de l'onde. On peut ainsi récupérer des informations sur le mécanisme source à l'origine de cette onde. Expérimentalement, on émet l'hypothèse que deux sources différentes, d'un point de vue mécanique, conduisent à deux signaux mesurés différents. Le signal est caractérisé à l'aide de descripteurs issus des formes d'onde. Grâce à des algorithmes de classification, les signaux sont structurés en classes pouvant correspondre aux différents mécanismes d'endommagement [1]. Cependant, au cours de sa propagation, l'onde issue de la source subit de nombreuses transformations. Le signal est d'abord fortement modifié par le milieu de propagation [2]

(déphasages, réflexions, séparation de modes, distorsion due à la dispersion), puis par le système d'acquisition. L'interprétation d'un signal d'EA apparait dans ce contexte particulièrement difficile: comment différencier ce qui est caractéristique de la source de ce qui provient des transformations liées à la propagation et à l'acquisition ? Pour répondre à cette question, une étude expérimentale seule n'est pas suffisante, il faut avoir recours à la modélisation [3]. L'objectif de cette étude est de simuler la fissuration dynamique et la propagation des ondes acoustiques. Le but est d'établir un lien fort et explicite entre l'évènement mécanique source, l'état de la matière (niveau d'endommagement) et le signal mesuré par le capteur (Fig. 1).
Dans cet article, nous étudierons plus précisément l'influence de la géométrie du milieu de propagation sur le signal d'EA en ayant recours à la simulation numérique par éléments finis.

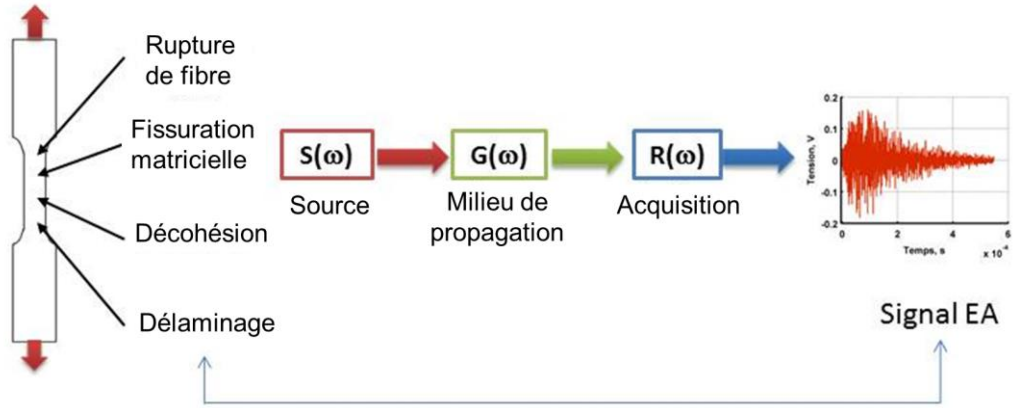

Fig1 : Les différents éléments de la chaine de modélisation de l'émission acoustique.

2. Simulations numériques et résultats

Pour étudier l'influence de la géométrie du milieu de propagation sur les paramètres d'EA, une simulation par éléments finis est réalisée à l'aide du logiciel ABAQUS® pour des éprouvettes de différentes géométries (FIG. 2). L'épaisseur est de 3,7 mm. Les différentes géométries représentent le matériau à l'échelle du mini-composite, à l'échelle du composite et enfin à l'échelle d'une « pièce semi-technologique ». L'analyse a été réalisée en dynamique explicite, le calcul explicite étant mieux adapté pour simuler les phénomènes de propagation d'onde. Les éprouvettes sont modélisées en trois dimensions. Dans une première approximation, le matériau est considéré comme homogène et isotrope. Les éléments 3D hexagonaux, d'une taille de 400 µm, C3D8R ont été utilisés pour le maillage. L'amortissement est modélisé par l'introduction de coefficients de Rayleigh. La validation des conditions de calcul a été réalisée par comparaison avec des signaux obtenus après rupture de mine.

Différentes sources représentatives de sources d'EA sont simulées (Fig.3). Dans un premier temps, les éprouvettes des trois géométries sont excitées par un chirp généré en surface (Fig. 3a) afin d'exciter un maximum de modes et de fréquences d'une bande fréquentielle allant jusqu'à 1,2 MHz. Cette simulation permettra de d'identifier les différents modes de propagation.

Dans un deuxième temps, trois sources correspondant à différents mécanismes d'endommagement sont simulées à l'intérieur des éprouvettes. Les sources sont placées dans le plan médian de l'éprouvette, au milieu de la largeur et dans la zone utile. Elles sont représentées sous la forme de dipôles de force (Fig 3b) dilatation, fissure mode II et fissure mode I. Le temps de montée des sources est de 1 µs.

La vitesse particulaire est calculée dans un plan de coupe de l'éprouvette en allant de l'épicentre de la source à l'extrémité de l'éprouvette dans le sens de la longueur. La réponse fréquentielle du capteur

n'est pas prise en compte à ce stade de l'étude. Les résultats sont représentés à l'aide d'une transformée de Fourrier 2D. Cette représentation (nombre d'ondes en fonction de la fréquence) va permettre de visualiser les modes de propagation activés par les différentes sources.

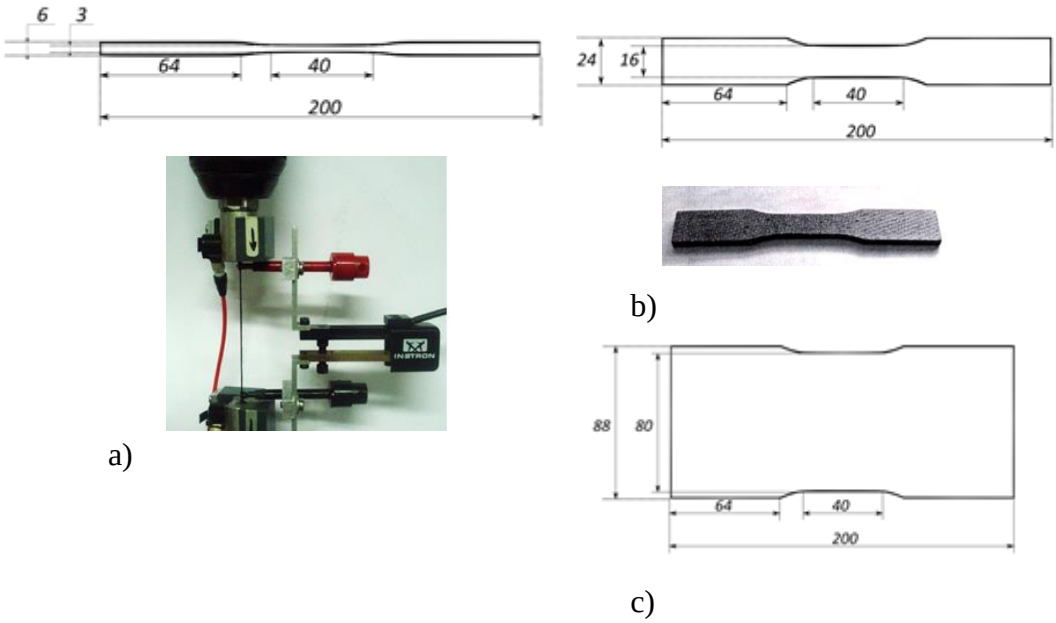

FIG. 2 – Différentes géométries d'éprouvettes simulées. Les dimensions sont en millimètres.

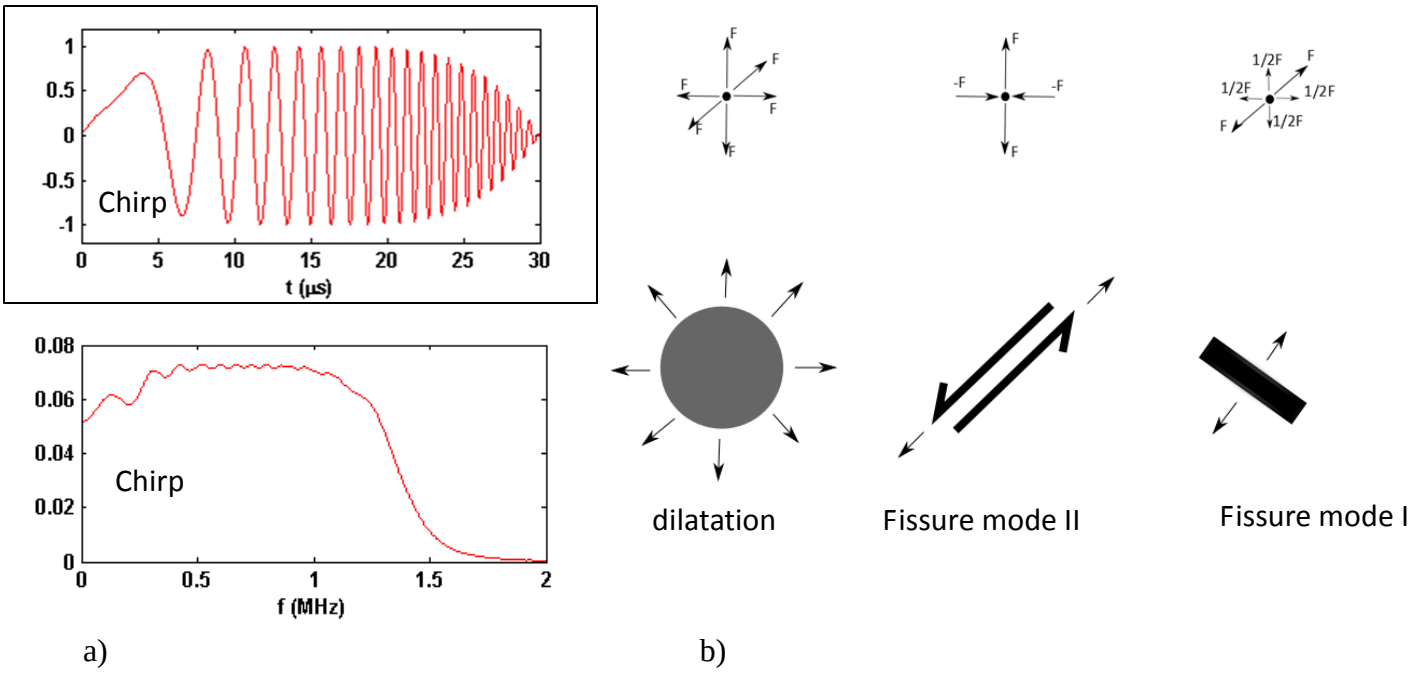

FIG. 3 – Différentes sources d'EA simulées. a) Chirp : signal temporel et la transformée de Fourier associée b) dilatation, fissure mode I et mode II

La figure 4 représente les résultats obtenus pour les éprouvettes des trois géométries excitées par un chirp. Pour une même source large bande, les signaux propagés sont influencés par le milieu de propagation et notamment par sa géométrie. Dans les géométries étudiées, le signal ne peut se propager que selon des modes bien déterminés **:**

- pour l'éprouvette de plus grande géométrie, ce sont les modes de plaque,
- pour l'éprouvette représentant un mini composite ce sont les modes de poutre,
- pour l'éprouvette représentant une éprouvette de traction classique: dans cette géométrie intermédiaire les modes de propagation ne sont ni des modes de plaque ni de poutre. La transformée de fourrier est beaucoup plus complexe L'identification des modes est quasiment impossible. Ce résultat met en évidence une difficulté pour l'interprétation des résultats obtenus pour cette géométrie en analyse modale.

La figure 5 représente les résultats obtenus pour des sources différentes dans une géométrie donnée de largeur 3 mm. Le champ de contrainte dynamique généré par chaque source est différent, ce qui conduit à des transformées de Fourrier 2D différentes. En effet, les modes excités et la bande de fréquence excitée sont différents. Cela devrait permettre de mettre en évidence une signature acoustique de la source pour une géométrie donnée.

En conclusion, ces simulations mettent bien en évidence l'influence de la géométrie sur les modes de propagation et donc sur les signaux d'EA enregistrés et par conséquent sur les descripteurs extraits des formes d'onde. De même pour une géométrie donnée, les transformées de Fourier 2D sont sensiblement différentes pour une fissure mode I et une fissure mode II. Les résultats obtenus avec cette approche (influence de la nature et de position de la source, de la nature des capteurs ainsi que de leur positions, etc.) permettront de fiabiliser la technique d'EA.

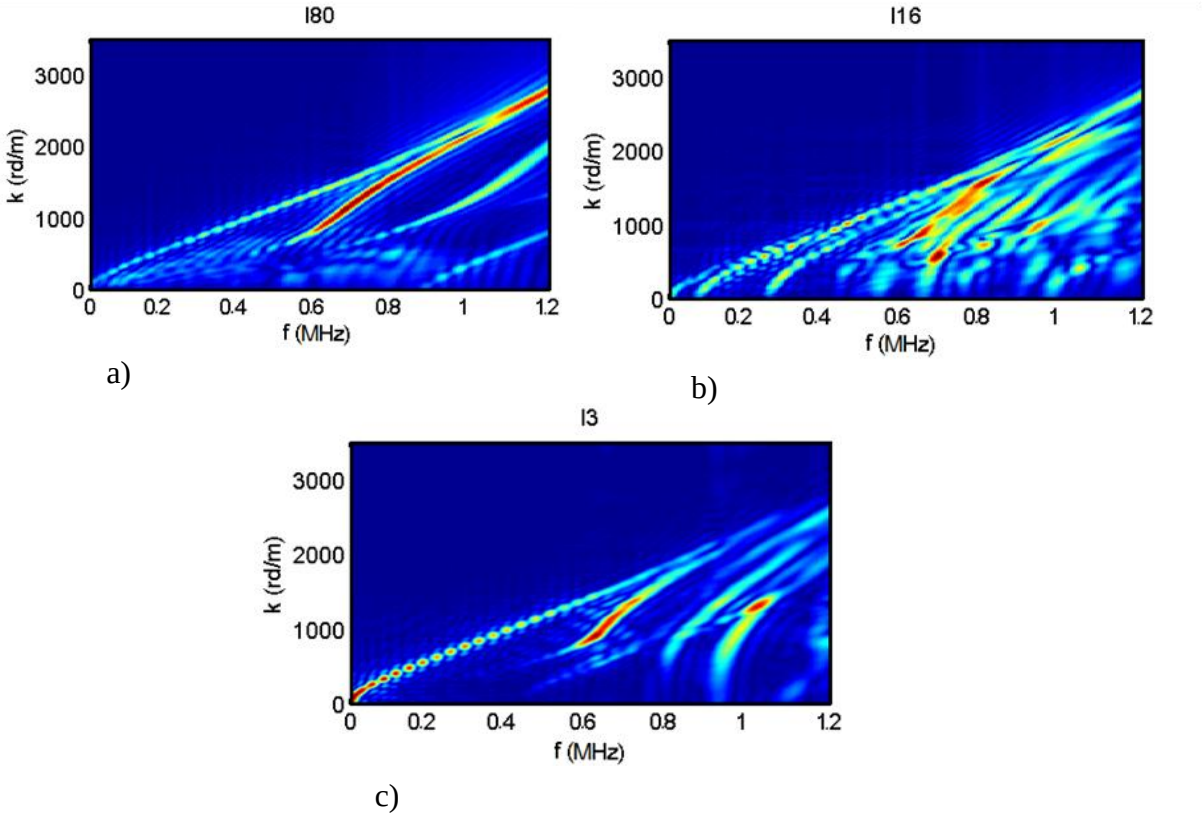

Fig. 4 : Transformée de Fourier 2D pour les trois géométries pour une même source simulée en surface (chirp) a) Eprouvette de grande largeur b) Eprouvette de traction classique c) Eprouvette fine représentative d'un mini-composite

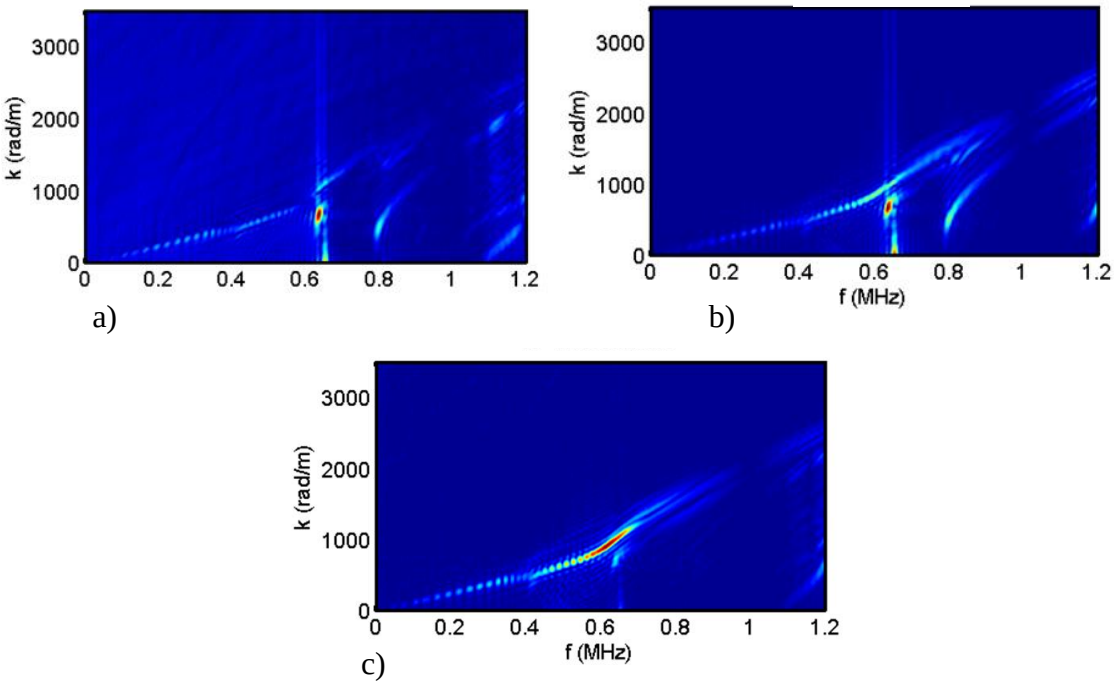

Fig. 5 : Transformée de Fourier 2D pour une géométrie donnée (l'éprouvette d'une épaisseur de 3 mm) excitée par trois mécanismes d'endommagement différents a) dilatation, b) fissure mode II et c) fissure mode I

Références

[1] M. Moevus, «Analysis of damage mechanisms and associated acoustic emission in two SiCf/[Si-B_C] composites exhibiting different tensile behaviours. Part II: Unsupervised acoustic emission data clustering,» Composites science and technology, vol. 68, pp. 1258-1265, 2008.
[2] D. Aggelis, «Effect of plate wave dispersion on the acoustic emission parameters in metals,» Computers and Structures, vol. 98, pp. 17-22, 2012.
[3] M. Sause, «Simulation of Acoustic Emission in PLanar Carbon Fiber Reinforced Plastic Specimens,» Journal of Nondestructive Evaluation, vol. 29, pp. 123-142, 2010.