HAL open science

Modélisation des sources d'émission acoustique : aide à l'identification de paramètres pertinents pour décrire l'endommagement des matériaux

Thomas Le Gall, Nathalie Godin, Thomas Monnier

To cite this version:

Thomas Le Gall, Nathalie Godin, Thomas Monnier. Modélisation des sources d'émission acoustique : aide à l'identification de paramètres pertinents pour décrire l'endommagement des matériaux. CFM 2013 - 21ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2013, Bordeaux, France. hal-03439751

HAL Id: hal-03439751

https://hal.science/hal-03439751v1

Submitted on 22 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 des sources d'Emission Acoustique : aide à l'identification de paramètres pertinents pour décrire l'endommagement des matériaux composites

T. LE GALL[a], N. GODIN[a], E. RACLE[a], T. MONNIER[b]

a. Université de Lyon, INSA-Lyon, MATEIS UMR5510, F-69621 Villeurbanne, France
b. Université de Lyon, INSA-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 sur les caractéristiques du signal d'EA afin de déterminer les descripteurs pertinents, images du mécanisme d'endommagement. Pour cela des sources artificielles représentant des sources d'EA sont générées à la surface du matériau à l'aide du code d'éléments finis ABAQUS®. Les résultats des simulations sont comparés à des données expérimentales.

Abstract :

Acoustic Emission (AE) testing is a non-destructive evaluation method which is especially suited for structural health monitoring in composite materials. The objective of the present study is to quantify the impact of the propagation media 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. To this end, using finite element simulation software ABAQUS®, artificial sources representing AE sources were generated on the material surface. The results were compared to experimental data.

Mots clefs : composites, Emission Acoustique, descripteurs

1 Introduction

Les matériaux composites étant de plus en plus utilisés pour la réalisation de pièces de structure, il est nécessaire de connaître leurs mécanismes d'endommagement afin de prévoir leur durée de vie [1]. La technique d'émission acoustique (EA) permet de détecter en temps réel les mécanismes d'endommagement, elle 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, 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 (FIG. 1). Grâce à des algorithmes de classification [2], les signaux sont structurés en classes pouvant correspondre aux différents mécanismes d'endommagement [3]. 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 (déphasages, réflexions, séparation de modes, distorsion due à la dispersion), puis par le système

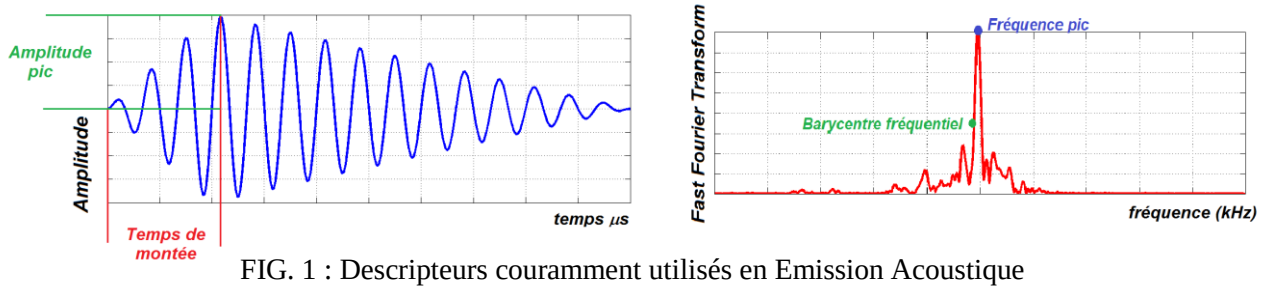

FIG. 1 : Descripteurs couramment utilisés en Emission Acoustique

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. Par la suite, nous étudierons plus précisément l'influence du milieu de propagation en ayant recours à la simulation numérique par éléments finis. L'étude se focalisera sur l'impact de la propagation sur les descripteurs couramment utilisés en EA. Des travaux ont déjà été consacrés à l'étude des descripteurs [4] mais peu d'entre eux se sont intéressés aux matériaux composites. Les résultats issus de la simulation seront comparés avec des résultats expérimentaux obtenus sur composites à matrice céramique.

2 Méthodologie

2.1 Simulations numériques

Pour étudier l'influence de la propagation sur les paramètres d'EA, une simulation par éléments finis a été réalisée à l'aide du logiciel ABAQUS® sur éprouvette de traction (FIG. 2).

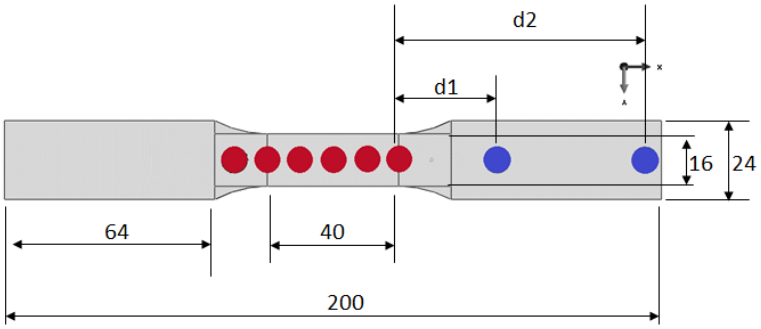

FIG. 2 - Eprouvette de traction, localisation des signaux source en rouge, localisation des récepteurs en bleu.

L'analyse a été réalisée en dynamique explicite, le calcul explicite étant mieux adapté pour simuler les phénomènes de propagation d'onde. L'éprouvette a été modélisée en 3 dimensions, aucune simplification n'a été faite sur sa géométrie. Dans un premier temps, le matériau est considéré homogène, isotrope et parfaitement élastique. Les données matériau utilisées pour la simulation sont : la masse volumique $\rho = 2170\ kg/m^3$, le module d'Young E = 180 GPa et le coefficient de poisson $\nu = 0{,}49$ [5]. Les éléments 3D hexagonaux C3D8R ont été utilisés pour le maillage, la taille moyenne d'un élément a été calculée afin de respecter le critère de forme [6] :

$$l_e = \frac{\lambda_{min}}{R} \quad \text{avec :} \quad \lambda_{min} = \frac{C_R}{f_{max}} \qquad (1)$$

C_R étant la vitesse de l'onde de Rayleigh dans le matériau et f_{max} la fréquence maximale considérée c'est-à-dire 1 MHz dans le domaine de l'EA. Le paramètre de résolution R est de 10 pour les éléments situés autour de la source, 6 dans la partie utile et 4 en dehors. Ces valeurs ont été prises de façon à garantir de bons résultats tout en évitant un calcul trop long. La durée de simulation est de 300 µs ce qui correspond peu ou prou à la durée des signaux expérimentaux. Des sources artificielles représentatives de sources d'EA ont été générées à la surface de l'éprouvette sous la forme d'une contrainte surfacique (FIG. 2). La vitesse de déplacement normale à la surface est calculée en deux endroits de l'éprouvette. Cette vitesse de déplacement est moyennée sur une surface correspondant à la surface d'un capteur µ80. La réponse fréquentielle du capteur n'est pas prise en compte à ce stade de l'étude. Une étude paramétrique a été réalisée en faisant varier le temps de montée de 10 µs à 40 µs, la fréquence de 150 à 425 kHz et l'amplitude maximale de la source et donc son énergie (le rapport maximal d'énergie est de 12).

2.2 Protocole expérimental

La partie expérimentale de l'étude a été réalisée par Acousto-Ultrasons à l'aide de la carte ARB (MISTRAS Group) sur une éprouvette en composite à matrice céramique SiC/SiC de géométrie identique à celle simulée avec ABAQUS® (FIG. 2). Les propriétés des matériaux sont décrites en [5]. Trois capteurs d'EA (modèles PACµ80 de Euro Physical Acoustics) ont été utilisés. Le signal est généré par un capteur utilisé en tant qu'émetteur. Deux capteurs récepteurs enregistrent le signal après propagation. Ces capteurs sont sensibles à la vitesse de vibration de la surface du matériau et génèrent une tension proportionnelle à cette vitesse. Les signaux électriques envoyés au capteur émetteur ont les mêmes caractéristiques que les signaux source utilisés en simulation.

3 Résultats

3.1 Comparaison entre les formes d'onde simulées et les formes d'onde expérimentales

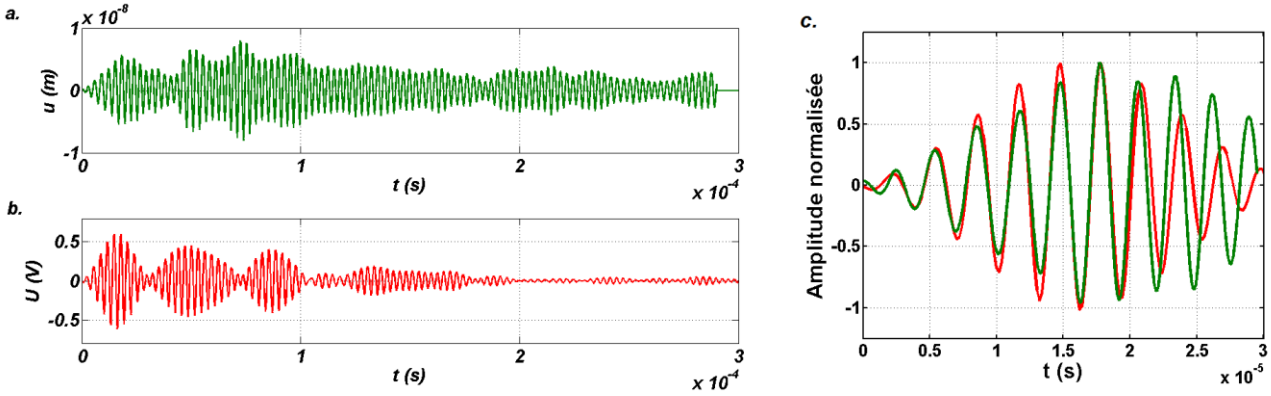

FIG. 3 : Source à 350 kHz. a) signal simulé. b) signal mesuré. c) zoom sur le début des signaux

La figure 3.a. représente le signal simulé et la figure 3.b. le signal expérimental pour une même source. La distance de propagation dans les deux cas est de 8 cm. Ces figures montrent que l'atténuation est beaucoup plus prononcée dans le cas du signal expérimental. En effet la simulation, basée sur un matériau parfaitement élastique, ne prend pas en compte son amortissement. De plus, plusieurs paquets d'ondes sont visibles sur les deux signaux. Leur présence peut être expliquée par les différentes réflexions qu'a subit le signal au cours de sa propagation jusqu'au récepteur. La différence observée au niveau du temps d'arrivée des différentes réflexions entre les deux signaux s'explique par l'anisotropie du matériau composite qui n'est pas prise en compte, pour l'instant, dans la simulation. Si on considère uniquement le début du signal (FIG. 3.c.), où aucunes réflexions ne sont présentes, les signaux se superposent relativement bien.

3.2 Prétraitement des formes d'onde simulées

Avant le calcul des descripteurs, une attention particulière a été portée au traitement du signal simulé et plus particulièrement à son fenêtrage. Ce point est important car, en effet, les paquets d'onde réfléchis ne donnent, à priori, pas plus d'information que le paquet d'onde propagé sans réflexion. Les descripteurs des formes d'onde simulées ont donc été calculés de deux façons différentes. D'abord sur l'intégralité du signal (FIG. 3.a.), calcul aussi réalisé par le logiciel AEWIN sur les formes d'onde expérimentales (FIG. 3.b.). Puis uniquement sur le premier paquet d'onde (FIG. 3.c.).

3.3 Pertinence du temps de montée

La figure 4.a. montre l'évolution du temps de montée du signal reçu en fonction du temps de montée de la source. Si le signal est considéré dans son intégralité, les temps de montée calculés sont surestimés (pour un temps de montée de la source de 10 µs, le temps de montée du signal reçu est de 110 µs). De plus,

l'évolution du temps de montée du signal n'est pas linéaire. En revanche, si le signal est fenêtré pour ne garder que le premier paquet d'onde, les temps de montée reçus sont plus représentatifs des temps de montée de la source et l'évolution observée est linéaire. Les interférences constructives entre les ondes réfléchies expliquent une mauvaise estimation du temps de montée sur le signal intégral. Elles peuvent conduire à la formation d'un paquet d'onde d'amplitude plus grande que celle du paquet d'onde initial. Le temps de montée ainsi calculé n'est donc pas représentatif de la source car il dépend des réflexions. L'évolution du temps de montée en fonction de la distance à la source (FIG. 5.a.) confirme la nécessité d'isoler le premier paquet d'onde. Calculé sur le début du signal, le temps de montée reste constant alors qu'il évolue de manière chaotique lorsqu'il est calculé sur l'intégralité du signal. Le logiciel AEWIN calculant le temps de montée sur la totalité du signal, une évolution non constante du temps de montée peut aussi être observée sur les signaux expérimentaux (FIG. 5.b.).

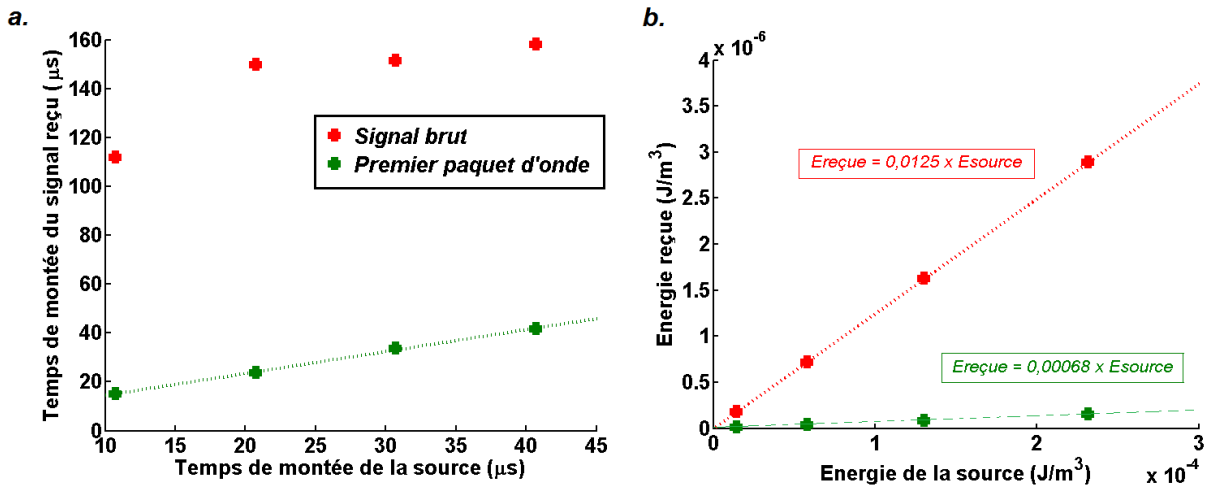

FIG. 4 – Capteur à 8 cm de la source, fréquence de la source : 350 kHz. Résultats issus de la simulation. a) évolution du temps de montée du signal reçu en fonction du temps de montée de la source. b) évolution de l'énergie reçue en fonction de l'énergie de la source.

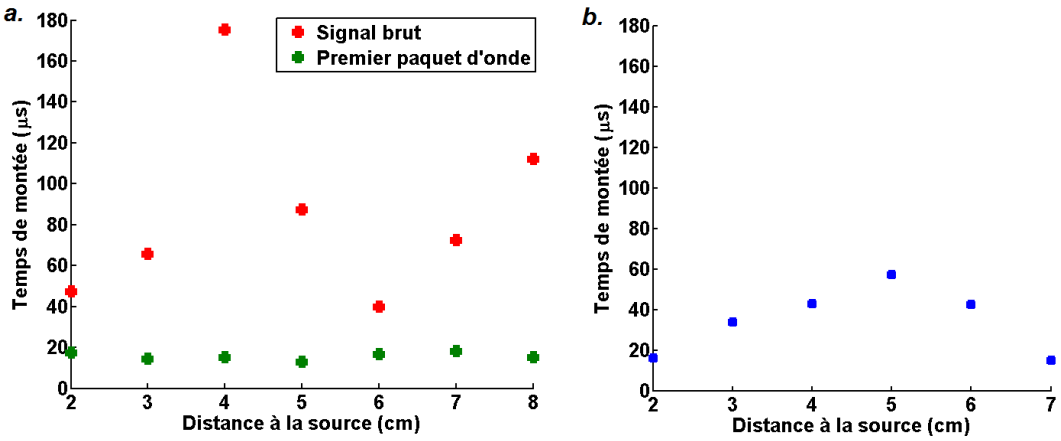

FIG. 5 : Evolution du temps de montée en fonction de la distance à la source. a) Résultats de simulation. b) Résultats expérimentaux. (Temps de montée source : 10µs, fréquence : 350 kHz)

3.4 Pertinence de la fréquence

Des sources allant de 150 kHz à 425 kHz sont simulées. L'intérêt se porte sur l'évolution des descripteurs fréquentiels et plus particulièrement le barycentre fréquentiel. Il apparait, suite à la simulation, que ce descripteur est très stable, quel que soit le signal analysé (brut ou premier paquet d'onde). De plus, il n'est pas affecté par la propagation et reste constant en fonction de la distance à la source. Le contenu fréquentiel du signal apparait identique à celui de la source. Ce résultat a aussi été observé expérimentalement.

3.5 Pertinence de l'énergie

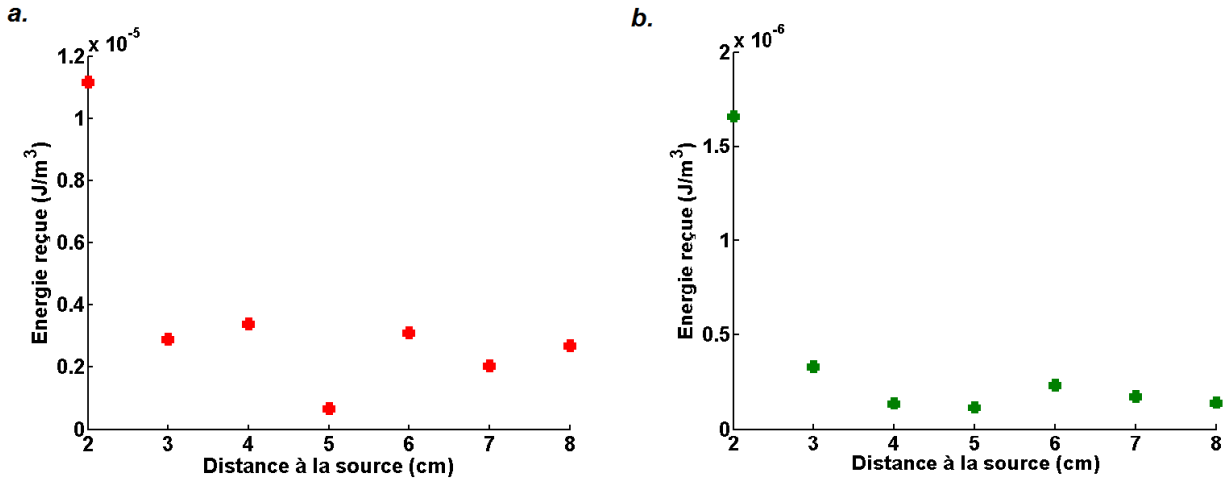

FIG. 6 : Evolution de l'énergie en fonction de la distance à la source. Résultats de simulation. a) Energie calculée sur l'intégralité du signal. b) Energie calculée sur le premier paquet d'onde.(Temps de montée de la source : 10µs, fréquence : 350 kHz)

L'énergie d'un signal d'EA mesurée par un capteur se calcule de la façon suivante :

$$E = \frac{1}{R}\int_0^{\infty} V(t)^2 dt \qquad (2)$$

Où $V(t)$ est la tension mesurée par le capteur, et R sa charge résistive. Le signal calculé après simulation n'est pas une tension mais la vitesse de déplacement perpendiculaire à la surface de l'éprouvette. Dans ce cas l'énergie volumique est calculée de la façon suivante :

$$E_v = \frac{\rho}{t_{TOT}}\int_0^{t_{TOT}} v^2 dt \qquad (3)$$

Où ρ est la masse volumique du matériau, v la vitesse de déplacement et t_{TOT} la durée du signal. La figure 4.b. montre une relation linéaire entre l'énergie de la source et l'énergie du signal reçu. Cette relation est toujours vraie, que le signal ait ou n'ait pas subi de fenêtrage. L'énergie du signal donne donc une bonne image de l'énergie de la source quelle que soit la fraction du signal considérée. La figure 6 montre l'évolution de l'énergie du signal reçu, pour différentes distances de propagation, énergie calculée sur le signal brut ou sur le premier paquet d'onde. Si le signal est fenêtré au préalable, l'énergie décroit en fonction de la distance. L'évolution est par contre plus chahutée si le signal est considéré dans son intégralité. Ici encore les interférences constructives et destructives des ondes réfléchies sont à l'origine de cette évolution ; or, ne conserver que le début du signal revient à s'affranchir de ces réflexions et donc du surplus ou de la carence en énergie qui résulte de leurs interférences.

4 Conclusion

Cette étude est centrée sur l'effet de la propagation des ondes sur certains descripteurs extraits de signaux d'EA. Les résultats ont montré que la fraction du signal reçu considérée pour le calcul des descripteurs a une influence non négligeable sur leur capacité à représenter la source. Le barycentre fréquentiel est toujours très stable et représentatif de la source, quelle que soit la fraction du signal considérée, aussi bien d'un point de vue expérimental que théorique. En revanche, si le signal n'est pas proprement fenêtré, l'énergie et le temps de montée s'en retrouvent très affectés. Ils deviennent ainsi plus représentatifs des effets de la propagation sur le signal source que du signal source lui-même. Pour que ces descripteurs soient utiles à la classification des signaux, il est primordial de s'affranchir de l'influence des réflexions. Cela est d'autant plus facile à réaliser sur une pièce de grandes dimensions ayant un amortissement élevé et avec un signal source de courte durée.

References

[1] M. Sause, «Quantification of failure mechanisms in mode-I loading of fiber reinforced plastics utilizing acoustic emission analysis,» Composites Science and Technology, vol. 72, pp. 167-174, 2012.
[2] A. Sibil, «Optimization of Acoustic Emission Data Clustering by a Genetic Algorithm Method,» Journal of nondestructive evaluation, vol. 31, pp. 169-180, 2012.
[3] 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.
[4] D. Aggelis, «Effect of plate wave dispersion on the acoustic emission parameters in metals,» Computers and Structures, vol. 98, pp. 17-22, 2012.
[5] J. Lamon, «Chemical Vampor Infiltrated SiC/SiC Composites,» chez Handbook of Ceramic Composites, 2005, pp. 55-77.
[6] R. Naber, «Analytical and experimental validations of a numerical band-limited Green's function approach for modelling acoustic emission waves,» Advances in Engineering Software, vol. 38, pp. 876-885, 2007.
[7] M. Hamstad, «Frequencies and Amplitudes of AE Signals in a Plate as a Function of Source Rise Time,» chez EWGAE 2010, Vienna, 2010.
[8] M. Sause, «Simulation of Acoustic Emission in Planar Carbon Fiber Reinforced Plastic Specimens,» Journal of Nondestructive Evaluation, vol. 29, pp. 123-142, 2010.