

# MISE EN EVIDENCE DES DIFFERENTS TYPES D'ENDOMMAGEMENTS EN FATIGUE D'UN COMPOSITE ARAMIDE EPOXY A L'AIDE DE L'OUTIL ACOUSTIQUE

Y. MENAIL<sup>1\*</sup>, A. EL MAHI<sup>2</sup>, B. REDJEL<sup>3</sup>, R. BERBAOUTI<sup>4</sup> & M. ASSARAR<sup>5</sup>

<sup>1</sup>LR3MI, Université Badji Mokhtar, Sidi Ammar, BP 12, Annaba, Algérie. \*menailyounes43@gmail.com

<sup>2</sup>LAUM, UMR CNRS 6613, Université du Maine, av. O. Messiaen, 72085 Le Mans, France.  
abderrahim.elmahi@univ-lemans.fr

<sup>3</sup> Laboratoire de Génie civil, Université d'Annaba, Algérie. bredjel@yahoo.fr

<sup>4</sup>LAUM, UMR CNRS 6613, Université du Maine, av. O. Messiaen, 72085 Le Mans, France.  
berbaoui.rachid@univ-lemans.fr

<sup>5</sup>Université de Reims Champagne Ardenne, CRESPI, EA 4301, IUT de Troyes, 9 rue de Québec BP 396 10026 Troyes Cedex, France. mustapha.assarar@univ-reims.fr

## RÉSUMÉ

Notre travail consiste à mettre en relief l'effet de la fatigue en traction sur un matériau composite à base de fibres d'aramide 171 et d'une résine époxy SR 1500, SD 2505. A cet effet nous avons utilisé une machine hydraulique universelle INSTRON 8516 avec une cellule de force de 100 kN. Les éprouvettes ont été fatiguées sous 5000 cycles. Le suivi acoustique s'est fait grâce à trois capteurs reliés à un système d'acquisition. Cet outil nous a permis de déceler différents types d'endommagements. En début d'essai nous avons constaté des fissurations de matrice avec quelques ruptures de fibres. Durant la fatigue, c'est surtout la fissuration de la matrice qui se manifeste. Et en phase finale, c'est l'apparition de tous les endommagements qui se manifestent, fissuration de matrice, délaminage, décohésion et pour finir rupture des fibres.

**Mots Clés:** *Acoustique, Kevlar, époxy, composite, fatigue*

## 1. INTRODUCTION

Les matériaux à base de Kevlar ont fait l'objet de plusieurs études [1, 2, 3] et le suivi acoustique a permis de bien cerner les différents types d'endommagements occasionnés par la fatigue. Une approche plus quantitative de la technique d'émission acoustique a été développée par certains auteurs [4,5]. Pour cela, ils ont déterminé la relation entre l'événement résultant d'une source et le signal détecté par les capteurs acoustiques, reliés au matériau traité [6]. Nous nous sommes basés sur les travaux d'Åberg et Gudmundson [7] qui ont observé que les signaux acoustiques associés aux fissures de matrice correspondent à des signaux basses fréquences, alors que ceux associés à la rupture de fibres présentent des fréquences plus élevées, De Groot et al. [8], Che et al [9], Kim et Lee [10], Karger-Kocsis et al. [11], Kotsikos et al. [12,13] et Benzeggagh et al. [14,15]. Ils ont classé les amplitudes en trois ou quatre groupes, de la plus faible à la plus forte, pour les associer à la fissuration des matrices, puis celles des décohésions et délaminages et enfin, la rupture des fibres. Nous avons opté pour une carte acoustique, donnée par le tableau 1, suite à la synthèse des résultats donnés par les essais pratiques et les résultats de la bibliographie.

N°	Mécanisme d'endommagement	Nb de dB correspondant
0	Seuil	0-40
1	fissuration de la matrice	40-60
2	délaminage interlaminaire	60-70
3	Décohésion	60-70

4	rupture de fibres	70-90
---	-------------------	-------

TABLEAU 1. Carte acoustique

## 2. METHODE EXPERIMENTALE

Les éprouvettes sont à base de résine époxy SR 1500 associée à un durcisseur amine SD 2505 et de fibres d'aramides taffetas 171. Les essais de traction ont été réalisés sur une machine hydraulique universelle de marque INSTRON modèle 8516 équipée avec une cellule de force de 100 kN. Les résultats des essais statiques sont donnés par le tableau 2. Pour les essais de fatigue, nous avons opté pour 5000 cycles.

Caractéristiques mécaniques	Kevlar taffetas 171
Masse surfacique (g/m <sup>2</sup> )	170
Fibre (%)	42%
Module longitudinal (GPa)	16.5
Module transversal (GPa)	16.5
Contrainte à la rupture (MPa)	305
Déformation à la rupture %	2.7

TABLEAU 2. Caractéristiques du kevlar 171

Le protocole des essais en traction des matériaux composites étudiés se fait en 4 phases, figure 1.

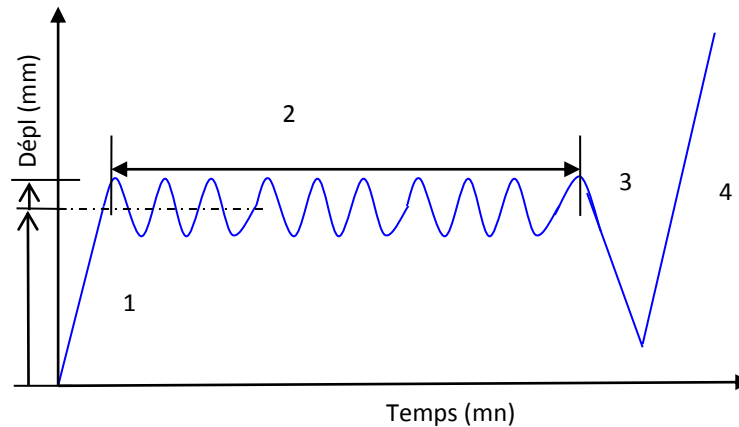


FIGURE 1. Protocole des essais en traction des matériaux composites

- La 1<sup>ère</sup> phase de chargement 1 se fait à une vitesse constante de 1mm/mn, sous déplacement contrôlé jusqu'à 50% du déplacement à la rupture en statique.
- La 2<sup>ème</sup> phase 2 est une phase de fatigue avec une forme d'onde sinusoïdale, sous une fréquence de 10Hz, avec une amplitude de 10% du déplacement à la rupture.
- La 3<sup>ème</sup> phase 3 est une phase de déchargement de l'éprouvette après avoir été sollicitée en fatigue au nombre de cycles imposé.
- La 4<sup>ème</sup> phase 4 est une phase de rupture directe par traction avec une vitesse de déplacement de 1mm/mn.

L'essai de traction se manifeste par des vibrations de surface sous forme d'ondes élastiques qui sont amplifiées et recueillies par des capteurs piézo-électriques, pour donner le signal d'émission acoustique, figure 2.

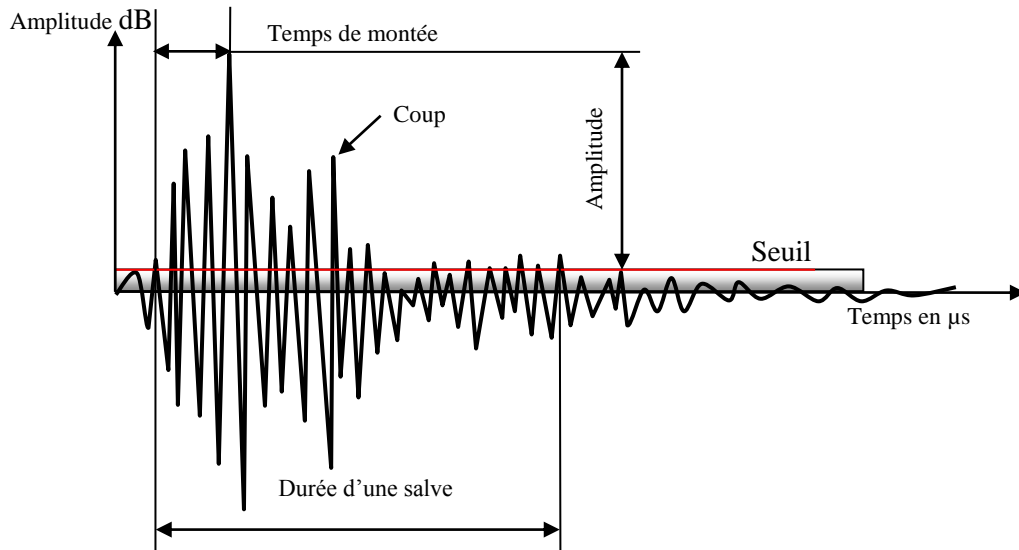


FIGURE 2. Représentation d'une salve d'émission acoustique

### 3. RESULTATS

La figure 3 représente l'évolution de l'effet de la traction sur le composite. Les différents mécanismes d'endommagement rencontrés dans ce matériau sont visualisés grâce à l'émission acoustique et sont principalement la fissuration de la matrice, le décollement à l'interface fibre/matrice ou décohésion, le délaminage interlaminaire et la rupture finale des fibres, qui conduit à la dégradation du composite. Chaque type d'endommagement est caractérisé par sa plage d'amplitudes. Il est à signaler qu'il est difficile de cerner ces différentes plages avec précision, puisque d'un coté elles se chevauchent entre elles et d'un autre coté les différents auteurs ne donnent pas les mêmes plages d'amplitudes aux mêmes endommagements.

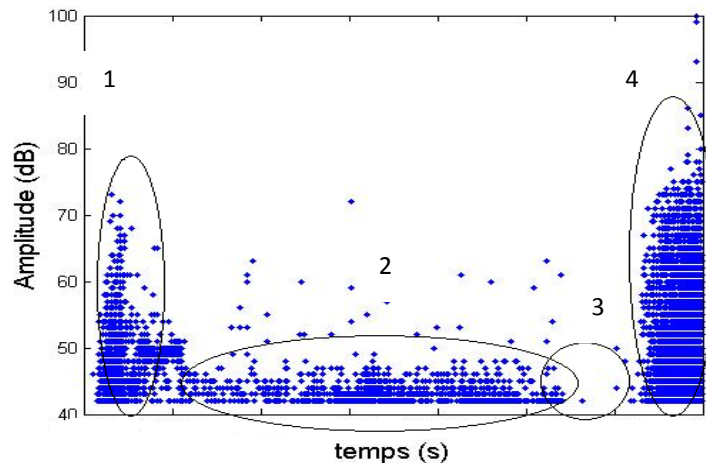


FIGURE 3. Répartition des groupes d'amplitudes correspondant aux phases de sollicitations en fatigue  
Toujours d'après la figure 3, quatre groupes d'amplitudes bien distinctes apparaissent. Ils correspondent aux quatre phases, correspondant au protocole des essais représenté par la figure 2. Dès le démarrage de l'essai de fatigue, les différentes dégradations commencent à apparaître progressivement d'une manière intensive et durant un court laps de temps, correspondant à la durée de chargement (1). Lors de la seconde étape, qui est l'étape la plus longue, nous avons une rupture de matrice (2). La 3<sup>ème</sup> étape correspond au déchargement et par conséquent pas d'effort, pas de dégradation et pas de signaux acoustiques (3). Lors de la dernière étape, nous avons apparition de tous les genres de ruptures, rupture de matrice, délaminage, décohésion et rupture de fibres (4). C'est la phase finale du matériau qui se manifeste par la dégradation de l'éprouvette. La figure 4, quant à elle, nous montre que durant toute la sollicitation en fatigue, nous avons une fissuration de la matrice (60dB). Cette fissuration fragilise le matériau et contribue à sa détérioration. Le délaminage et la décohésion se manifestent en début de sollicitation, lors de la charge initiale et lors de la rupture finale, en fin de cycle de vie de l'éprouvette. La rupture des fibres n'apparaît qu'en fin de sollicitation sur une courte durée.

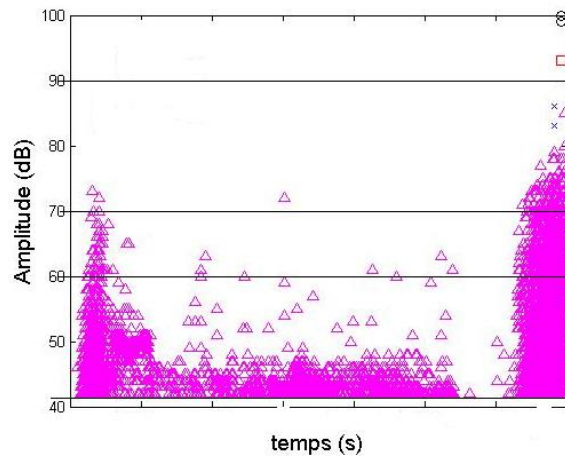


FIGURE 4. Répartition des impacts de dégradations par niveaux d'amplitudes

Le plus grand nombre de salves durant toute la fatigue du matériau correspond aux amplitudes comprises entre 40 et 60 dB, ce qui correspond à la fissuration de la matrice, figure 5.

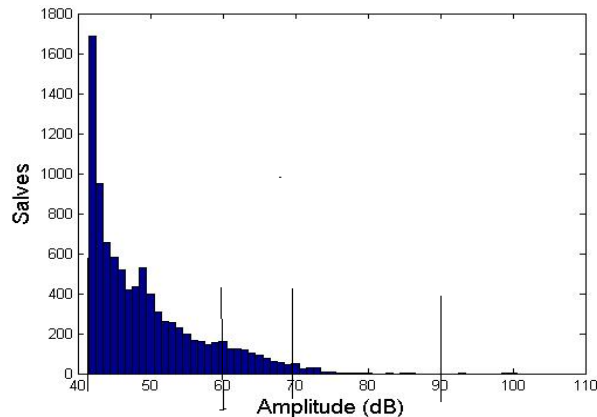


FIGURE 5. Répartition des nombres de salves par niveaux d'amplitudes

Le nombre de salves dédié à la décohésion et au délaminage est relativement réduit par rapport à celui de la fissuration de la matrice (60-70 dB). Quant à celui dédié à la rupture des fibres, il est très réduit, ce qui indique que ces dernières se rompent très rapidement et en même temps. Le cumul des salves lors de la fatigue du matériau est donné par la figure 6. Il nous donne une idée sur la progression de la fragilisation du matériau et de sa rupture. Nous avons un nombre important de salves lors de la charge initiale de l'éprouvette, suivi d'une progression en pente douce tout le long de la fatigue, jusqu'à la décharge de l'éprouvette. Nous avons ensuite et en fin de vie de l'éprouvette, une augmentation très rapide du nombre de salves, correspondant à tous les mécanismes d'endommagement.

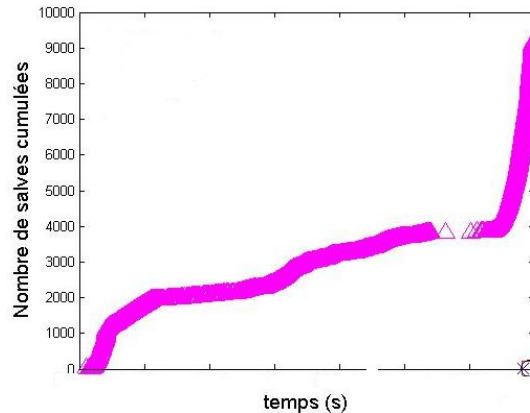


FIGURE 6. Cumul des salves lors de la fatigue du matériau

#### 4. CONCLUSION

Suite à ces résultats, nous pouvons dire que ce matériau résiste mal aux efforts brusques et s'adapte mieux à une fatigue longue et constante. Grâce au suivi acoustique, nous constatons que la résine qui représente 58% du matériau est sollicitée durant toute la période de la fatigue en subissant une dégradation progressive. Cette dégradation se fait par paliers sans décohésion ni délaminage, qui n'apparaissent qu'en fin de cycle de vie, avec l'augmentation de l'effort de traction. Cela implique que le moulage des éprouvettes s'est fait dans de bonnes conditions et qu'il n'y a pas de défauts internes. Toujours grâce au suivi acoustique, nous constatons que la charge initiale engendre en un laps de temps très court plus de 50% du nombre d'impacts enregistrés durant la fatigue du matériau. La résine époxy est bien adaptée aux fibres aramide, pour donner un matériau ayant une bonne cohésion et une bonne résistance à la fatigue en traction.

#### REFERENCES

- [1] Y. Wang, Y.M. Xia Experimental and theoretical study on the strain rate and temperature dependence of mechanical behavior of Kevlar fiber Composites: Part A, Vol. 30 (1999) pp. 1251–1257.
- [2] M. Sabu Sebastian K.C. Unnikrishnan, S. Narayanan Viscoelastic properties of Kevlar-29 fabric tape strength member Mechanics of Materials 40 (2008) pp 949–960.
- [3] Fang Guo, ZhaozhuZhang a, HuijuanZhang, KunWanga, WeiJiang Tribological behavior of spun Kevlar fabric composites filled with fluorinated compounds Tribology International 43 (2010) pp. 1466-1471.
- [4] Kline R. A., Green R. E. et Palmer, C. H. Acoustic emission waveforms from cracking steel: experiment and theory. Journal of Applied Physics 1981, Volume 52, p. 141–146.

- [5] Wadley H. N. G., Scruby C.B. et Shrimpton, G. Quantitative acoustic emission source characterisation during low temperature cleavage and intergranular fracture. 1981, *Acta Materialia*, Volume 29, p. 399–414.
- [6] Ceausescu-Ersen E.A. Application de la technique d'émission acoustique à la caractérisation de matériaux céramiques évolutifs thèse de l'Université de Limoges, 2004.
- [7] Åberg M. et Gudmundson P. Micromechanical modeling of transient waves from matrix cracking and fiber fracture in laminated beams. *International Journal of Solids and Structures*, 2000, Volume 37, Issue 30, pp 4083-4102.
- [8] De Groot P. J., Wijnen P. A. M. et Janssen R. B. Real-time frequency determination of acoustic emission for different fracture mechanisms in carbon/epoxy composites. *Composites Science and Technology*, 1995, vol.55, pp.405-412.
- [9] Chen O., Karandikar P., Takeda N. et Kishi T. Acoustic emission characterization of a glass-matrix composite. *Nondestructive Testing and Evaluation*, 1992, vol.8-9, pp.869-878.
- [10] Kim S.-T. et LEE Y.-T. Characteristics of damage and fracture process of carbon fiber reinforced plastic under loading-unloading test by using AE method. *Materials Science and Engineering*, 1997, vol. A234-236, pp.322-326.
- [11] Karger-Kocsis J., Harmia T. et Czigany T. Comparison of the fracture and failure behavior of polypropylene composites reinforced by long glass fibers and by glass mats. *Composites Science and Technology*, 1995, vol.54, pp.287-298.
- [12] Kotsikos G., Evans J. T., Gibson A. G. et Hale J. Use of acoustic emission to characterize corrosion fatigue damage accumulation in glass fiber reinforced polyester laminates. *Polymer Composites*, 1999, vol.20, n°5, pp. 689-696.
- [13] Kotsikos G., Evans J. T., Gibson A. G. et Hale J. Environmentally enhanced fatigue damage in glass fiber reinforced composites characterised by acoustic emission. *Composites: Part A* 2000, vol. 31, pp.969-977.
- [14] Benzeggagh M.-L., Barre S., Echalié B. et Jacquemet R. Etude de l'endommagement de matériaux composites à fibres courtes et à matrice thermoplastique. In: *AMAC Journées Nationales Composites*, Paris, 1992, vol. 8, pp.703-714.
- [15] Barre S., Benzeggagh M.-L. On the use of acoustic emission to investigate damage mechanisms in glass-fiber-reinforced polypropylene. *Composites Science and Technology*, 1994, vol.52, pp.369-376.