



**HAL**  
open science

# Tomographie X et émission acoustique appliquées à la traction de composites à matrice métallique

Vincent Carmona, Joël Courbon, Éric Maire

► **To cite this version:**

Vincent Carmona, Joël Courbon, Éric Maire. Tomographie X et émission acoustique appliquées à la traction de composites à matrice métallique. CFM 2007 - 18ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2007, Grenoble, France. <hal-03362173>

**HAL Id: hal-03362173**

**<https://hal.science/hal-03362173v1>**

Submitted on 1 Oct 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.



HAL Authorization

# Tomographie X et émission acoustique appliquées à la traction de composites à matrice métallique

Vincent Carmona, Joël Courbon & Éric Maire

Insa de Lyon  
Mateis  
20, av. A. Einstein 69621 Villeurbanne Cedex  
vincent.carmona@insa-lyon.fr

## Résumé :

*Lors d'essais de traction, l'émission acoustique, produite par l'endommagement d'éprouvettes composites à matrice métallique, ainsi que des images tri-dimensionnelles du matériau grâce à la tomographie X ont été enregistrées. L'apparition de fissures au sein du renfort particulaire céramique est étudié par les deux techniques. Elles s'accordent toutes deux à donner une même évolution de l'endommagement.*

## Abstract :

*During tensile tests of metal matrix composites, acoustic emission due to damage was recorded. The sample was also simultaneously scanned by X-ray tomography in order to have 3D images of the microstructure. The initiation of cracks in the ceramic spheres was studied by both techniques. They agree to predict a same damage evolution.*

## Mots-clefs :

**composites à matrice métallique ; tomographie X ; émission acoustique.**

## 1 Introduction

Les calculs classiques de résistance des matériaux permettent de dimensionner une structure ainsi que de prévoir son comportement vis-à-vis des sollicitations envisagées. En général ces calculs sont effectués avec une hypothèse d'élasticité de la structure mais dans certaines conditions extrêmes, il peut être nécessaire de suivre la progression de l'endommagement afin d'estimer en temps réel la durée de vie ; l'émission acoustique se prête particulièrement bien à cette démarche. Cette technique, peu onéreuse, est capable d'estimer le type et le degré d'endommagement. Il faut cependant attribuer au préalable à un type d'endommagement un type de salve acoustique. C'est pourquoi on se propose dans le présent travail, pour faciliter l'interprétation des données recueillies, de coupler ce type de mesure à une technique d'imagerie afin de visualiser l'état d'endommagement du matériau choisi pour cette étude. Afin d'avoir une connaissance en volume de l'endommagement, la tomographie X est choisie comme méthode d'imagerie car il a été montré (Maire (2001) Buffiere (1999)) qu'il s'agit de la technique la plus appropriée pour visualiser les fissures et cavités à une échelle de l'ordre du micron.

## 2 Techniques et matériau

### 2.1 Matériau

Le matériau étudié, proche du matériau utilisé par Babout (2004) est obtenu par pressage à froid (cylindre de diamètre 20 mm) d'un mélange contenant une poudre d'alliage 2124 d'aluminium et des billes de céramique (4 % en volume), puis par extrusion d'une barre de section

10 × 2 mm. Les billes sont composées d'oxydes de zirconium et de silicium (Page web (2007)). La barre composite fabriquée est ensuite usinée afin d'obtenir des éprouvettes conformes à l'utilisation simultanée de l'émission acoustique et de la tomographie X. Les billes céramiques ont été tamisées entre 40 et 63  $\mu m$ . Certaines ont, de plus, reçu un dépôt de silane afin de modifier la tenue de l'interface inclusion/matrice.

## 2.2 Émission acoustique

La création ou la modification d'un défaut s'accompagnent d'une libération d'énergie qui parcourt le matériau sous forme d'ondes élastiques transitoires. Cette énergie peut être recueillie en surface par des transducteurs. Les enregistrements de ces signaux acoustiques renseignent alors sur l'évolution de l'endommagement (Wevers (1997)). La chaîne de mesure utilisée dans cette étude comprend : deux capteurs piézoélectriques (désignation commerciale « nano30 » fourni par Physical Acoustics Corporation), 2 pré-amplificateurs et le système d'acquisition Mistras. L'environnement de travail étant bruyant, le seuil d'acquisition des salves acoustiques est fixé à 45 dB. Les événements acoustiques sont enregistrés durant tout le chargement mécanique. La disposition des deux capteurs permet de localiser la source d'émission le long de l'éprouvette, la vitesse de propagation des ondes étant estimée à 3600 m/s.

## 2.3 Tomographie X

La tomographie s'appuie sur une série de radiographies prises sous des angles différents pour reconstruire l'objet désiré en volume. Le contraste des images vient, en particulier, de la différence d'absorption de la matrice et du renfort céramique. Le faisceau est monochromatique (énergie de 38.5 keV), le temps de pose pour une radiographie (1200 radiographies par acquisition) est de 0,3 s. La taille du pixel lors des acquisitions est de 1,4  $\mu m$ . Afin de pouvoir obtenir des radiographies nettes, le chargement mécanique est stoppé pendant la durée des scans. Suivant les essais, le volume imagé fluctue. La hauteur analysée varie de 1 à 5 mm. Les images 3D obtenues sont ensuite traitées, à l'aide du logiciel ImageJ (Rasband (1997)) afin de quantifier séparément la phase céramique et les fissures liées à l'endommagement. Les billes sont seuillées sur leurs seuls niveaux de gris. Les fissures sont obtenues après différentes opérations de seuillage, dilatation, érosion et filtrage en utilisant les billes comme masque.

## 3 Résultats

La figure 1 présente le comportement mécanique des éprouvettes. On peut remarquer que les caractéristiques des éprouvettes possédant une interface modifiée au silane sont proches de celle de l'éprouvette non traitée.

Sur les images des états initiaux (cf : figure 2), on remarque que la plupart des billes situées en surface sont fracturées. Ces billes se sont endommagées durant l'élaboration des éprouvettes, au coeur de l'échantillon, au contraire, peu de billes présentent des fissures ( $\sim 10\%$ ). De plus, l'état de contrainte en surface diffère de celui établi en volume, il est donc important d'utiliser des techniques de mesures donnant des informations volumiques qui diffèrent des observations surfaciques.

Lors du chargement élastique des éprouvettes, aucune activité acoustique n'est mesurée, l'endommagement du matériau ne commence qu'avec l'apparition de la plasticité macroscopique. Dans toutes les éprouvettes, le nombre de billes par millimètre cube est proche de 290. 194 événements par millimètre cube sont enregistrés pour l'éprouvette contenant les billes non

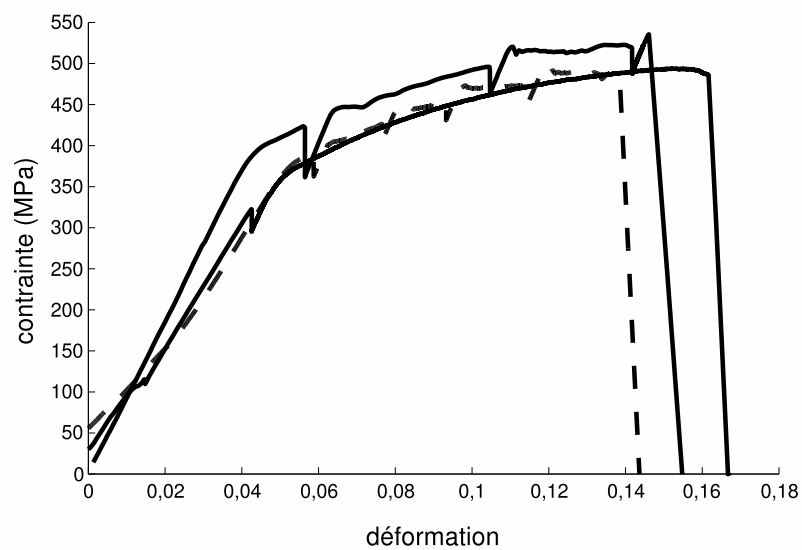


FIG. 1 – Courbes de traction. Éprouvettes composites avec des sphères traitées au silane en ligne pleine, billes non traitées en pointillé.

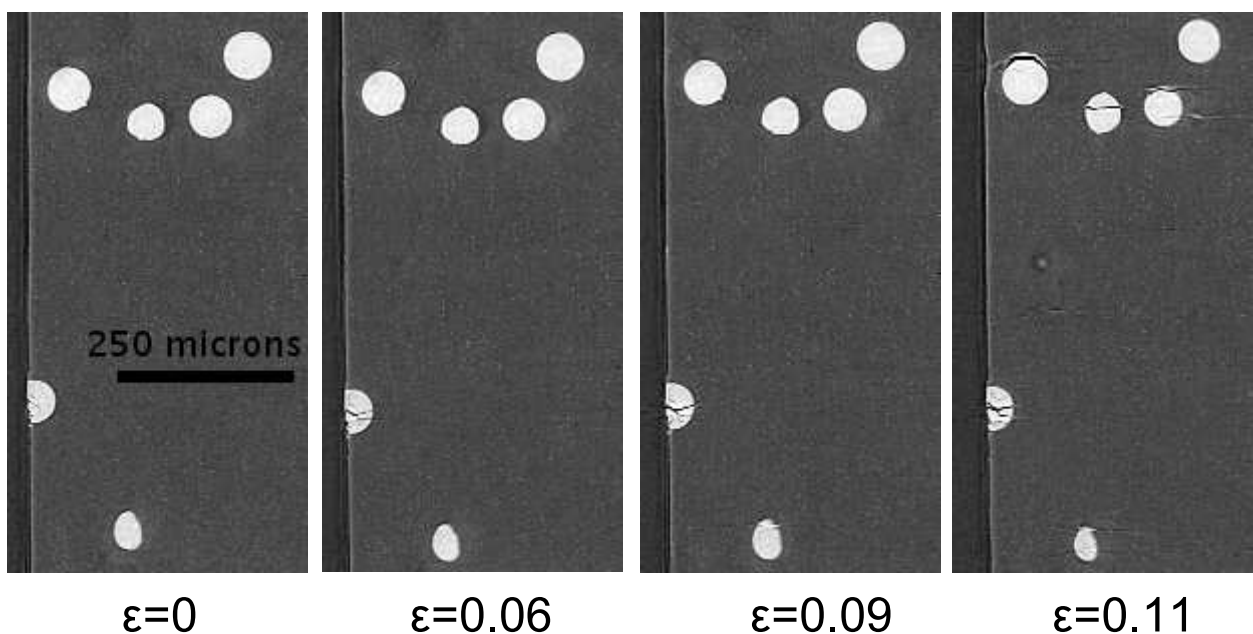


FIG. 2 – Évolution de l'endommagement dans l'éprouvette avec des sphères non traitées. L'axe de sollicitation est vertical.

traitées alors que 324 et 359 événements par millimètre cube sont détectés pour les échantillons ayant subi un traitement au silane. De plus, le traitement de surface modifie la distribution en amplitude des événements acoustiques (cf : figure 3), en éliminant les événements de forte amplitude. La tomographie nous confirme l'absence de création de fissures pendant la phase de chargement élastique et nous indique que le même type d'endommagement est présent dans les deux cas (avec et sans silane à l'interface) : fissuration des inclusions céramiques perpendiculairement à la direction de traction puis fissuration de la matrice par coalescence entre fissures inclusionnaires avant rupture macroscopique. Cependant, le nombre de fissures apparues dans les inclusions non traitées est plus faible conformément aux indications données par l'émission acoustique. Dans les deux matériaux, juste avant rupture de l'éprouvette, seules les petites billes ne sont pas cassées. Cet effet de taille peut s'expliquer par le fait que la probabilité de trouver un défaut dans l'inclusion augmente avec le volume de la sphère.

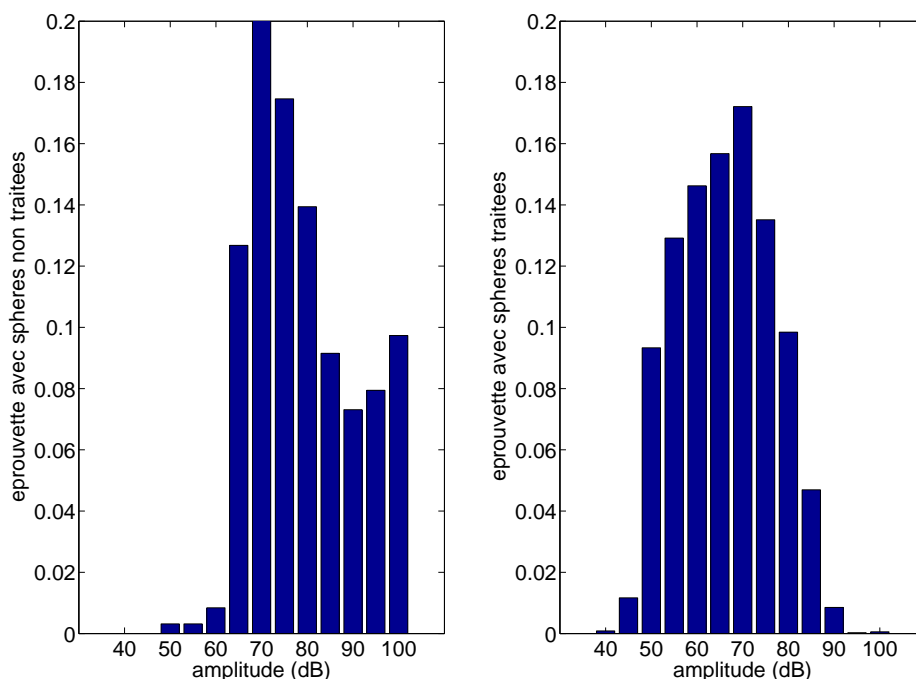


FIG. 3 – Distribution en amplitude des événements acoustiques

Du fait de l'importance du seuil d'acquisition (aucune salve acoustique ayant un niveau inférieur à 40 dB n'est prise en compte par le système d'exploitation acoustique), tous les événements acoustiques semblent correspondre à des ruptures d'inclusions, phénomènes très énergétiques. Pour chaque image tri-dimensionnelle, le nombre de fissure par millimètre cube est reporté sur la figure 4 en fonction du nombre d'événements acoustiques cumulé enregistré à cet instant de l'essai de traction, la droite représente l'égalité entre ces deux données. L'enregistrement de l'émission acoustique est fortement corrélé avec l'apparition de fissures dans les inclusions (coefficient de corrélation de 0,97 pour une droite de régression de pente 0,91).

#### 4 Conclusions

L'utilisation de la tomographie X nous a permis de quantifier l'évolution du nombre de fissures présentes dans le composite et de comparer cette évolution avec les relevés d'émission

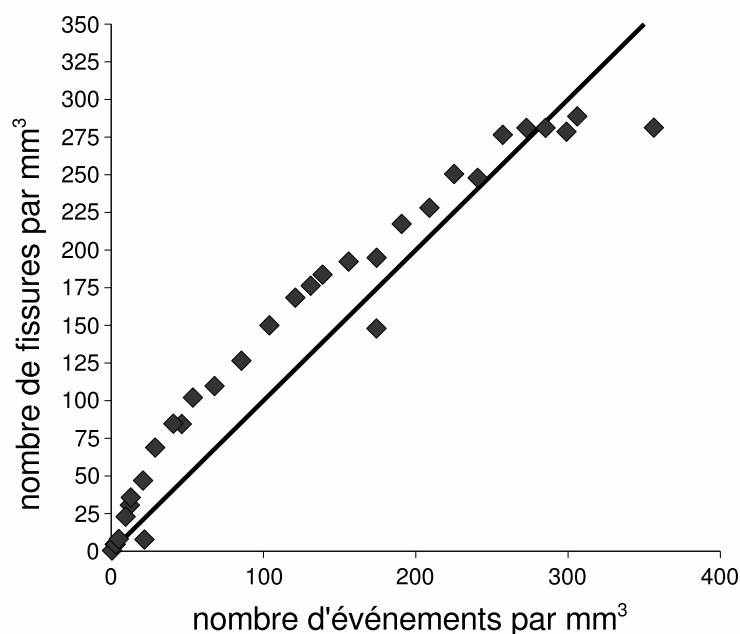


FIG. 4 – Évolution du nombre d'événements acoustiques par mm<sup>3</sup> et du nombre de fissures par mm<sup>3</sup>

acoustique. Nous avons montré un bon accord entre les événements acoustiques et les ruptures de particules. L'émission acoustique, technique facile à mettre en œuvre, est donc à même de quantifier l'apparition de fissures au sein de ce matériau. La création de fissures au sein des inclusions donne lieu à des événements acoustiques dont l'énergie mesurée est très variable. Afin d'améliorer l'interprétation établie à partir des données d'émission acoustiques, il nous faut déterminer quels paramètres influent sur la quantification de cette énergie. Il reste aussi à identifier clairement le rôle du traitement de surface.

## 5 Remerciements

Les auteurs remercient L. Salvo et L. Deville pour leur aide lors de l'élaboration des éprouvettes, le personnel de la ligne ID19 pour l'aide apportée au cours des expérimentations à l'ESRF. V. Carmona remercie le ministère de la recherche pour son allocation de recherche.

## Références

- Babout, L. , Brechet, Y. ,Maire, E. , Fougères, R. 2004 On the competition between particle fracture and particle decohesion in metal matrix composites *Acta Materialia* **52** 4517-4525
- Buffiere J.-Y, Maire E., Cloetens P., Lormand G. Fougères R. 1999 Characterization of internal damage in a MMCp using X-ray synchrotron phase contrast microtomography *Acta Materialia* **47-5** 1613-1625
- Maire, E., Buffière, J.Y., Salvo, L., Blandin, J.J., Ludwig, W., Létang, J. M. 2001 On the application of x-ray microtomography in the field of materials science *Advanced Engineering Materials* **3-8** 539-546
- Page web 2007 <http://www.zirpro.saint-gobain.com/>
- Rasband, W.S. 1997-2006 ImageJ <http://rsb.info.nih.gov/ij/>

Wevers, M. 1997 Listening to the sound of materials : acoustic emission for the analysis of material behaviour *Nondestructive Testing and Evaluation International* **30-2** 99-106