

Suivi par Emission Acoustique du Processus d'Endommagement et de Rupture des Bétons Bitumineux sous Chargement de Fatigue

BENABOUD Soufyane¹, TAKARLI Mokhfi¹, POUTEAU Bertrand², ALLOU Fatima¹, DUBOIS Frederic¹, HORNYCH Pierre³, NGUYEN Mai-Lan³

¹ Université de Limoges, Laboratoire GC2D, Centre Universitaire de Génie Civil, Bd Jacques Derche, 19300, Egletons, France

² Eurovia, 22 Rue Thierry Sabine, 33703, Mérignac, France

³ Laboratoire LAMES, Université Gustave Eiffel, Campus de Nantes - Allée des Ponts et Chaussées - CS5004 - 44 344 Bouguenais cedex, France

Résumé Cet article présente les résultats d'un suivi par émission acoustique (EA) du processus d'endommagement et de rupture d'un enrobé bitumineux sous un chargement de fatigue mécanique. Les échantillons sont prélevés d'une structure de chaussé en service depuis 19 ans et testés en flexion 2 points à 10°C-25Hz et une amplitude de déformation de 175 $\mu\text{m/m}$. L'analyse de l'évolution de l'activité acoustique durant l'essai de fatigue a permis de mettre en évidence l'existence d'un seuil d'endommagement caractéristique de l'initiation de la fissuration par fatigue. Une comparaison est réalisée avec les critères conventionnels basés sur la perte de rigidité (N_{f30} et N_{f50}) et l'évolution de l'énergie mécanique dissipée (N_{JDER}).

Mots-clés Emission acoustique (EA), Béton Bitumineux (BB), fatigue mécanique, endommagement.

I. Introduction

Les matériaux de chaussée sont soumis durant leur durée de vie à des chargements cycliques (mécanique et thermique) présentant les agents principaux d'initiation des fissures dans la structure de chaussée et conduisant à sa dégradation. La compréhension des mécanismes de fissuration des matériaux en service et le suivi de l'évolution de leur endommagement sont parmi les facteurs clés pour améliorer les outils de redimensionnement des anciennes chaussées. Pour ce faire, plusieurs techniques expérimentales et outils d'analyse sont développées dont l'EA particulièrement.

Lors d'un chargement de fatigue mécanique, le seuil de libération d'énergie sous forme d'ondes élastiques transitoires est un indicateur efficace pour évaluer l'état d'intégrité du matériau. Une étude expérimentale réalisée sur des éprouvettes cylindriques en traction/compression a montré l'existence d'un seuil d'initiation de fissures par fatigue et a permis également de mettre en évidence le phénomène d'autoréparation suite à un temps de repos (Seo and Kim, 2008). Dans une étude récente, des essais de fatigue en torsion instrumentés en EA ont été réalisés sur des éprouvettes cylindriques avec présence d'interface (Ragni et al., 2020). Les résultats obtenus

montrent que le critère de rupture conventionnel (Nf50 : nombre de cycles correspondant à 50% de perte de module) ne semble pas adapté à ce type d'essai et devrait être révisé.

Les travaux présentés dans cet article sont menés dans le cadre du projet ANR MOVEDVDC (ANR-17-CE22-0014), dont les objectifs sont de proposer des approches pour mieux caractériser les performances mécaniques résiduelles des matériaux bitumineux provenant de chaussées anciennes, afin de mieux évaluer la durée de vie résiduelle de ces chaussées. Il est notamment visé de définir les performances mécaniques en termes de module et de résistance en fatigue. L'usage de l'EA dans ce projet vise à enrichir l'essai de fatigue en flexion 2 points pour une meilleure compréhension du processus d'endommagement et de rupture des matériaux en service dans les structures de chaussées. Ainsi, les seuils caractéristiques du processus de fatigue issus de l'analyse acoustique sont comparés aux critères conventionnels de pertes de module (Nf50 et Nf30) et à un critère énergétique (DER : Dissipated Energy Ratio) développé dans la littérature (Diakhaté et al., 2012).

II. Matériau et Méthode

Les échantillons de l'étude, de type Grave Bitume GB 0/14, ont été prélevés de la couche de fondation d'une structure de chaussée en service depuis 19 ans. L'essai de fatigue en flexion deux points a été réalisé sur cinq éprouvettes de forme trapézoïdale (NF EN 12697-24, 2018) avec une fréquence de sollicitation de 25 Hz, une température de 10°C et une amplitude de déformation de 175 $\mu\text{m}/\text{m}$ appliquée en tête de l'éprouvette. Les dimensions de l'éprouvette sont : 56 mm pour la grande base, 25 mm pour la petite base, 250 et 25 respectivement pour la hauteur et l'épaisseur.



Figure 1. Dispositif expérimental pour l'essai mécanique et implantation des capteurs

Les phénomènes vibratoires transitoires accompagnant le processus évolutif du matériau ont été enregistrés en utilisant une chaîne de détection et d'enregistrement d'EA composée de : 8 capteurs piézoélectriques de type Nano30 d'une bande de fréquences de 125 à 750 kHz et deux fréquences de résonance autour de 140 et 300kHz, et 8 préamplificateurs IL40S (facteur de gain réglé à 40 dB). Le seuil de détection de l'activité acoustique est fixé à 43 dB.

III. Résultats et discussion

La Figure 2 présente l'évolution des hits (nombre de signaux acoustiques enregistrés) en fonction des cycles de chargement. Elle montre une distinction nette entre les capteurs situés en bas de l'éprouvette et ceux positionnés sur la partie haute. La cinétique globale reste néanmoins similaire, mais on constate une activité plus importante en bas de l'éprouvette, associée à un déphasage entre les deux plans de mesures (haut et bas). La différence en nombre de hits et le déphasage de cinétiques entre les mesures hautes et basses peuvent être expliqués par des chemins de distances différentes entre les sources et les transducteurs. Dans un matériau dissipatif, comme l'enrobé bitumineux, une distance de propagation plus importante conduit inévitablement à un affaiblissement de l'onde élastique et par conséquent, à une incapacité de détection si l'amplitude du signal est en-dessous du seuil de 40 dB. Nous supposons que les capteurs les plus proches sont plus sensibles aux événements microscopiques de faible intensité. Les capteurs les plus éloignés de la source détectent principalement les événements les plus énergétiques.

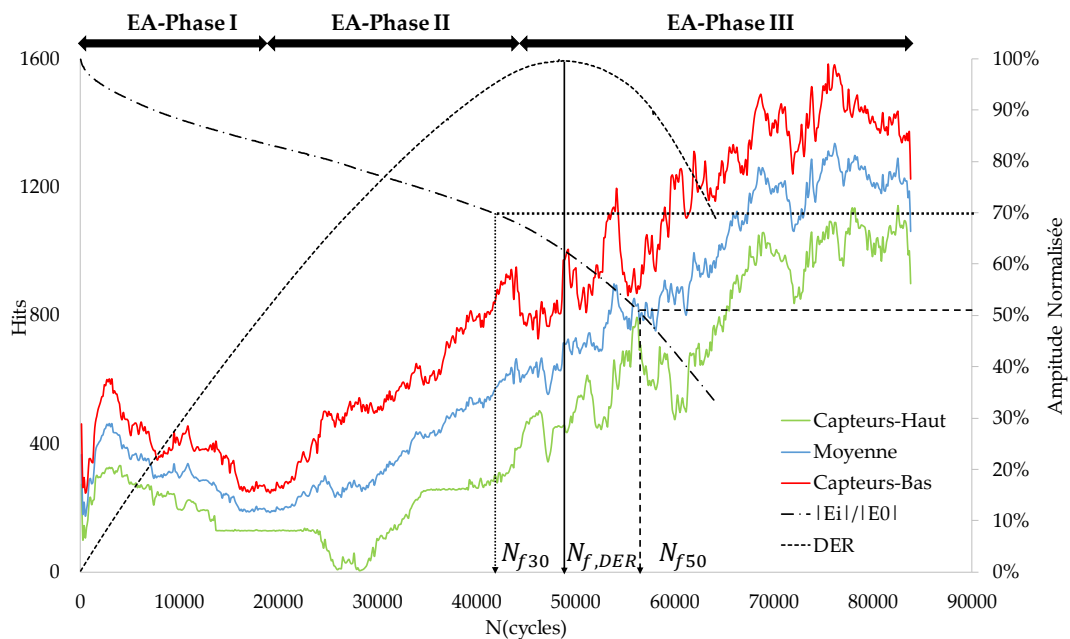


Figure 2 Évolutions des hits non cumulés, module normé et le ratio d'énergie (DER) pendant l'essai

Sur la base de recherche de points singuliers et d'un traitement statistique, il est possible de segmenter l'activité acoustique en 3 phases bien distinctes :

EA-Phase I : une manifestation d'une activité acoustique dès le début de l'essai attribuée à l'activation des défauts préexistants dans le matériau, qui provient d'une chaussée ancienne. Cette activité baisse progressivement à cause de l'échauffement du matériau dans la première phase de l'essai de fatigue (atténuation des ondes par effet visqueux).

EA-Phase II : après une baisse et/ou une stabilisation de l'activité acoustique, on note par la suite une reprise du nombre de hits mettant en évidence la mise en place d'un nouveau mécanisme d'endommagement (initiation de nouvelles microfissures et/ou propagation des fissures existantes). Dans le cas de l'essai traité par la Figure 2, ce seuil d'endommagement correspond à une baisse de module de 17%.

EA-Phase III : dans la dernière phase de l'essai de fatigue, l'activité acoustique présente une certaine instabilité caractérisée par des baisses et augmentations significatives du nombre de hits.

Cette phase est associée à l'activation de mécanismes de propagation et de coalescence des fissures. Dans le cas de l'essai traité par la Figure 2, ce seuil d'initiation de la rupture correspond à une baisse de module de 26%.

L'analyse des mesures acoustiques et des critères mécaniques sur les cinq éprouvettes testées (Figure 3) montre que le critère conventionnel N_{f30} est le plus sécuritaire dans l'estimation de la durée de vie en fatigue des matériaux vieillis et pré-endommagés.

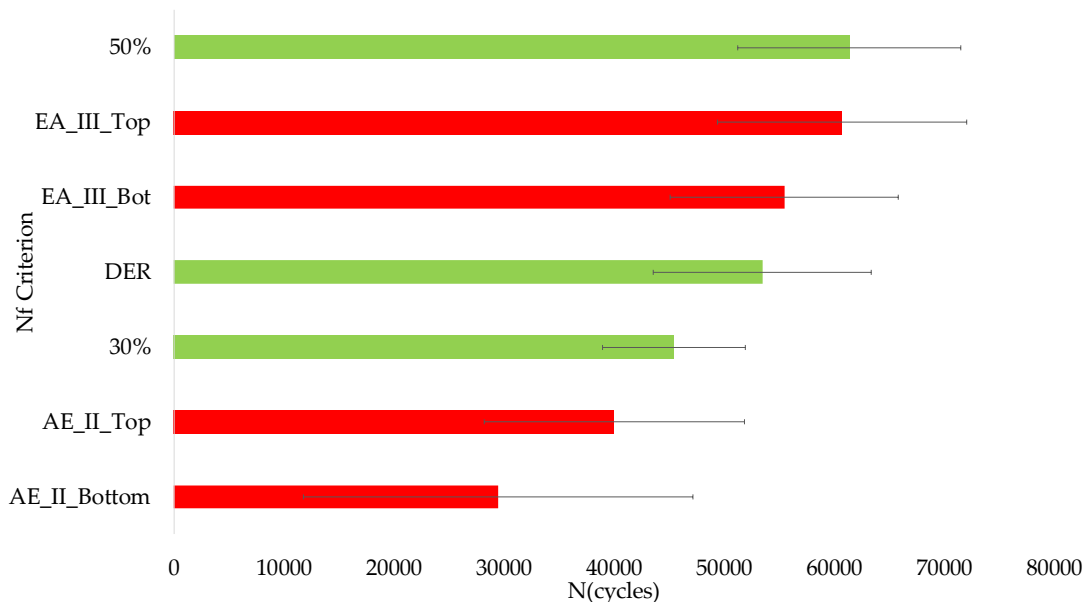


Figure 3 Comparaison des critères mécaniques et acoustiques

IV. Conclusions et Perspectives

Ce travail a porté sur l'enrichissement, par mesure des émissions acoustiques, de l'essai de référence en France de la caractérisation en laboratoire de la fatigue des enrobés bitumineux. L'analyse de l'évolution de l'EA a permis de définir des nouveaux seuils caractéristiques du processus de fatigue sous chargement mécanique. Ces derniers caractérisent respectivement l'initiation de l'endommagement et l'initiation de la rupture. Dans le cas de matériaux vieillis et endommagés, le critère conventionnel de rupture N_{f50} surestime la durée de vie résiduelle de l'enrobé bitumineux. Le critère N_{f30} encadré par les deux seuils acoustiques semble être plus adapté pour ce type de matériaux.

References

- Diakhaté, M., Larcher, N., Takarli, M., Angellier, N., Petit, C., 2012. Acoustic Techniques for Fatigue Cracking Mechanisms Characterization in Hot Mix Asphalt (HMA). 7th RILEM International Conference on Cracking in Pavements 771–781. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4566-7_75
- NF EN 12697-24, 2018. Bituminous mixtures-Test methods-Part 24 : Resistance to fatigue.
- Ragni, D., Takarli, M., Petit, C., Graziani, A., Canestrari, F., 2020. Use of acoustic techniques to analyse interlayer shear-torque fatigue test in asphalt mixtures. International Journal of Fatigue 131, 105356. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.105356>
- Seo, Y., Kim, Y.R., 2008. Using Acoustic Emission to monitor fatigue damage and healing in Asphalt Concrete. KSCE Journal of Civil Engineering 12, 237–243. <https://doi.org/10.1007/s12205-008-0237-3>