

Mise en place d'une méthode de qualification des bétons bitumineux par C-scan ultrasonore

BENABOUD Soufyane¹, TAKARLI Mokhfi¹, ALLOU Fatima¹, DUBOIS Frederic¹, POUTEAU Bertrand², NOCOLAI Aurélia³, BEGHIN Alain³

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 Spie Batignolles, Entreprise Malet, 30 Avenue de Larrieu, 31081, Toulouse, France

Résumé Cet article présente les résultats d'une étude préliminaire visant à qualifier les enrobés bitumineux par des mesures de propagation d'ondes ultrasonores de compression (P) et de cisaillement (S). Le matériau de l'étude est un enrobé bitumineux de type GB3 (0/14) formulé avec un pourcentage de vide de 4 à 5%. Les mesures ultrasonores sont réalisées dans un premier temps sur une plaque (60×40×12.5 cm³) en mode C-scan de maillage régulier de 10×10 cm² et une propagation dans la direction de compactage, puis sur des parallélépipèdes extraits de la plaque. La distribution spatiale des vitesses est présentée sous forme de cartographies d'iso-valeurs et discutée sur la base d'une analyse statistique de la dispersion des vitesses.

Mots-clés Béton Bitumineux ; Propagation d'ondes ; Traitement de Signal ; Vitesses Ultrasonores.

I. Introduction

Les méthodes de contrôles non-destructives CND sont largement utilisées dans le domaine du Génie Civil pour le diagnostic des structures in-situ et également pour la caractérisation des matériaux en laboratoire. Cependant, leur usage dans le domaine des chaussées reste relativement limité, notamment les méthodes basées sur la propagation des ondes ultrasonores (US). En plus des hétérogénéités présentes dans le matériau s'ajoutent les sensibilités thermique et cinétique de la matrice bitumineuse. Les mesures de la vitesse de propagation et de l'atténuation des ondes ultrasonores en laboratoire permettent d'aboutir à une bonne corrélation avec certaines caractéristiques micro-structurelles des enrobés bitumineux (densité, porosité, teneur en eau et optimum de bitume) (Kadium and Sarsam, 2020) et de mettre en évidence l'anisotropie induite par le mode de mise en œuvre ainsi que le phénomène de ségrégation. L'association de ces mesures à des chargements mécaniques permet également une estimation de la durée de vie en fatigue. Plus récemment, on note un grand intérêt de recherche pour la détermination des modules complexes E^* et G^* (Larcher et al., 2015).

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. La technique ultrasonore répond bien à ces objectifs, mais son usage en in-situ et sur des matériaux vieilliss et endommagés reste une opération difficile. Des études complémentaires en laboratoire sont donc nécessaires pour appréhender la complexité des phénomènes de propagation des ondes. Nous traitons ici de l'effet de la géométrie en comparant les résultats issues d'une plaque fabriquée en laboratoire et des éprouvettes parallélépipédiques prélevées dans cette dernière. Un accent particulier sur l'effet du SNR (rapport Signal/Bruit) sur la détermination du temps de vol est présenté.

II. Matériau et Méthode

La plaque d'enrobé, de dimensions $X(60) \times Y(40) \times Z(12.5)$ (cm³), utilisée pour réaliser cette étude est fabriquée en laboratoire par l'entreprise Spie Batignolles. Le matériau constitutif est un enrobé bitumineux de type GB3 (0/14) formulé avec un pourcentage de vide de 4 à 5%. Le liant utilisé est un bitume avec un indice de pénétrabilité de 32 (1/10 mm) à 25°C et une température de ramollissement de 59.3 °C. La MVRE (Masse Volumique Réelle de l'Enrobé, NF EN 12697-5) est de 2496 kg/m³. Le module à 15°C et 10 Hz est 13 562 MPa. Cette formule d'enrobé sera utilisée par la suite pour des essais de vieillissement accélérés en laboratoire en essayant d'approcher les états du matériau en service. Après le C-scan ultrasonore avec un maillage de 10×10 cm² à 20°C, des éprouvettes parallélépipédiques de dimensions 10×10×12.5 (cm³) sont extraites de la plaque.

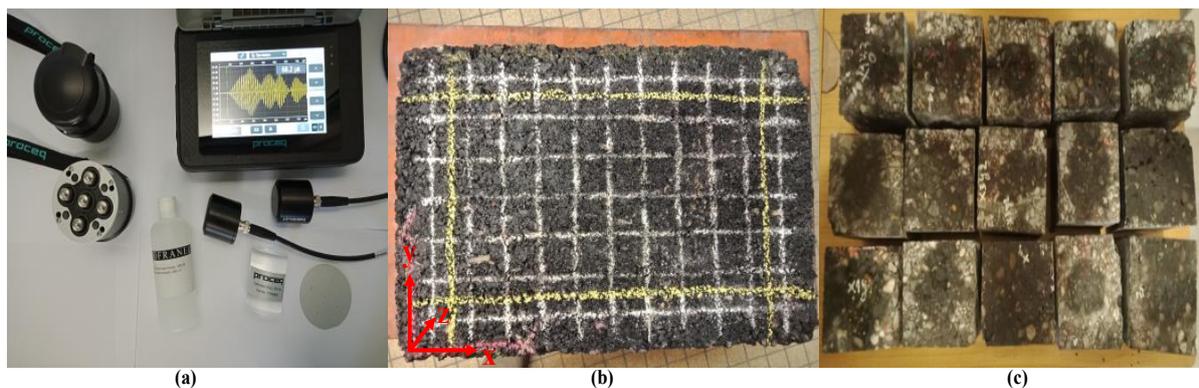


Figure 1 (a) Appareil Ultrasonore (b) plaque d'enrobé bitumineux (c) éprouvettes parallélépipédiques

L'appareil ultrasonore (Pundit PL-200) utilisé pour réaliser les mesures ultrasonores est composé d'un générateur d'impulsion allant de 50 à 400 V avec un facteur de gain à la réception de 1 à 10000 (de 0 à 80 dB). La résolution temporelle est de 0,1 μ s et la tension est mesurée à $\pm 30,52 \mu$ V sur une échelle de 16 bits. Deux couples (émetteur et récepteur) de transducteurs piézoélectriques sont utilisés pour effectuer les mesures US (Figure 1 (a)). La fréquence de résonance est de 54 ± 5 kHz pour les ondes de compression (P) et de 40 ± 4 kHz pour les ondes de cisaillement (S). Un couplant acoustique est utilisé dans le cas des ondes P pour assurer un bon contact entre les transducteurs et le matériau. Les transducteurs à ondes S sont à contact sec.

III. Résultats et discussions

La mesure du temps de vol TOF (Time Of Flight) dépend sensiblement du rapport Signal/Bruit (SNR) et de la méthode de détermination de l'arrivée du signal. Pour cette étude, nous avons testés trois critères de détermination du TOF : critère d'information d'Akaike « AIC », critère de Hinkley et la méthode du maximum glissant « MG » pour différentes combinaisons de tension et de gain. Les résultats obtenus, Figure 2, montrent que le critère AIC est le plus adapté aux enrobés bitumineux avec une stabilité du TOF au-delà d'un SNR d'environ 25 dB (Figure 2).

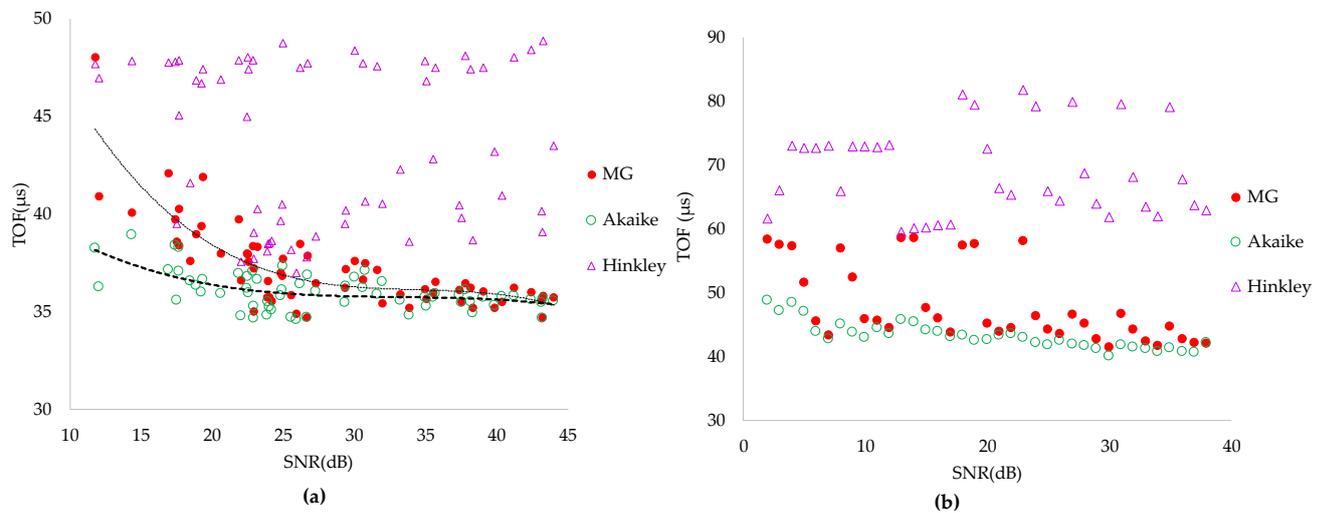


Figure 2 Effet du SNR sur la détermination du TOF

La Figure 3 présente les cartographies des vitesses V_p , dans la direction de compactage Z, pour la plaque est les éprouvettes parallélépipédiques.

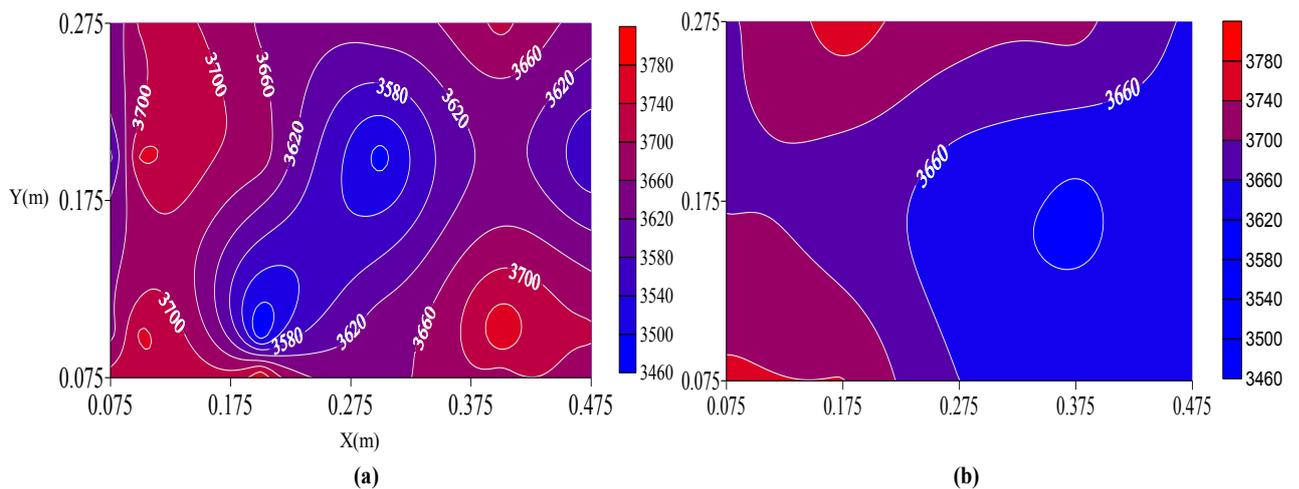


Figure 3 Cartographies des vitesses de compression issues des mesures (a) sur la plaque (b) sur cubes

Une analyse statistique a été menée sur les cartographies de vitesses. Cette analyse consiste à calculer le pourcentage de la surface de chaque intervalle d'iso-valeurs pour obtenir la distribution statistique comme montré dans la Figure 4. La distribution statistique des vitesses se présente sous forme d'une loi de type Gaussienne. Les valeurs nominales de vitesses de compression (V_p) sont de 3620 ± 40 m/s et 3645 ± 15 m/s, respectivement pour la plaque et les

cubes. Pour les vitesses de cisaillement (V_S), elles sont de 2910 ± 30 m/s pour la plaque et 2955 ± 30 m/s pour les cubes. Les résultats montrent un très faible écart des vitesses entre les deux géométries. Cette différence est de l'ordre de l'incertitude absolue des mesures.

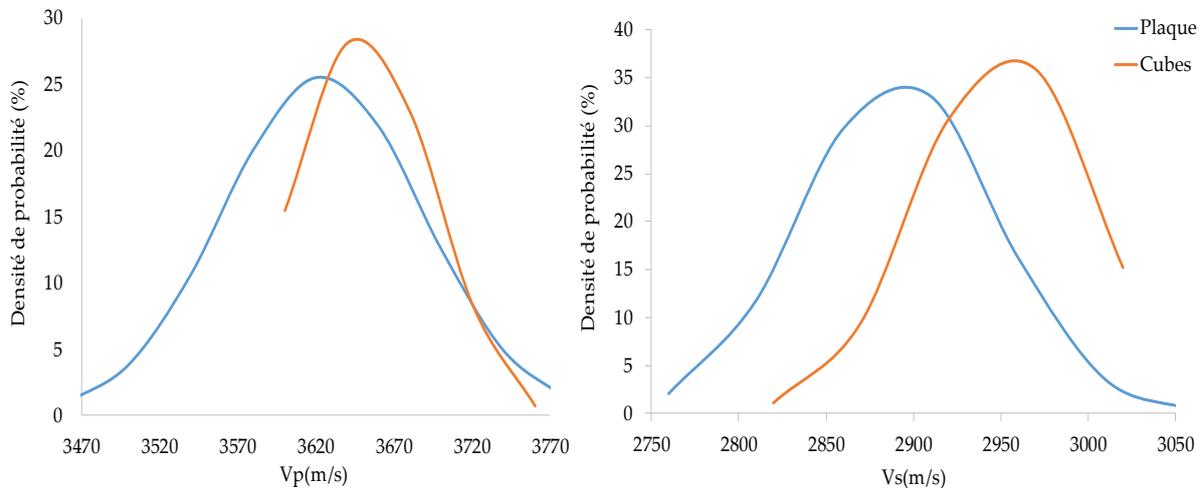


Figure 4 Distribution statistique des vitesses US (a) de compression P (b) de cisaillement S

IV. Conclusion et perspectives

Cette étude expérimentale montre une caractérisation d'une plaque d'enrobé fabriquée en laboratoire par le biais de vitesses d'ondes ultrasonores en compression (P) et en cisaillement (S). Avec une prise en compte de l'effet du SNR dans la détermination du temps de vol. Les résultats obtenus montrent l'importance d'adapter la méthode de détermination du TOF en fonction du SNR (Signal to Noise Ratio). Dans le cas présent, le critère le plus approprié est celui proposé par Akaike. L'homogénéité de la plaque a été analysée à l'aide d'une analyse statistique permettant de définir une valeur nominale d'une distribution spatiale des vitesses. En comparant les résultats issus des mesures faites sur deux géométries (plaque et cube), un écart a été observé entre les vitesses qui est de l'ordre de l'incertitude absolue des mesures.

Les futurs travaux se focaliseront sur la détermination des propriétés mécaniques élastique (E , G et ν) pour les deux géométries en analysant l'effet concomitant de la densité locale. Une transposition du protocole expérimental sera faite sur des matériaux prélevés in situ afin de mettre en évidence la présence d'éventuels défauts et effets de vieillissement.

Références

- Benaboud, S., Takarli, M., Allou, F., Dubois, F., Nicolai, A., Beghin, A., 2020. Efficiency of Ultrasonic Pulse Velocity test in the Determination of Residual Asphalt Mix Pavement Properties. Presented at the RILEM International Symposium on Bituminous Materials, Lyon, France.
- Kadium, N.S., Sarsam, S.I., 2020. Evaluating Asphalt Concrete Properties by the Implementation of Ultrasonic Pulse Velocity. *jcoeng* 26, 140–151. <https://doi.org/10.31026/j.eng.2020.06.12>
- Larcher, N., Takarli, M., Angellier, N., Petit, C., Sebbah, H., 2015. Towards a viscoelastic mechanical characterization of asphalt materials by ultrasonic measurements. *Materials and Structures* 48, 1377–1388.