



Méthode expérimentale pour l'étude de la fissuration et de l'auto-réparation des liants bitumineux

Samuel Maillard, Ferhat Hammoum, Chantal de La Roche

► To cite this version:

Samuel Maillard, Ferhat Hammoum, Chantal de La Roche. Méthode expérimentale pour l'étude de la fissuration et de l'auto-réparation des liants bitumineux. 16ème Congrès Français de Mécanique, Association Française de Mécanique, Sep 2003, Nice, France. hal-04356792

HAL Id: hal-04356792

<https://hal.science/hal-04356792>

Submitted on 20 Dec 2023

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.

Méthode expérimentale pour l'étude de la fissuration et de l'autoréparation des liants bitumineux

Samuel Maillard, Ferhat Hammoum & Chantal de La Roche

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
Division Matériaux et Structures de Chaussées
Route de Bouaye - BP 4129 - 44341 Bouguenais Cedex
Samuel.Maillard@lpc.fr

Résumé :

Un essai dit de "rupture locale répétée du bitume" est développé pour étudier le comportement à la rupture par décohésion et la capacité à l'autoréparation du bitume entre granulats dans un matériau routier. Une succession de tractions à vitesse de déformation constante est imposée à une pastille de bitume placée entre 2 protubérances en acier simulant les granulats. L'enregistrement de la force de réaction de l'échantillon révèle des chutes de rigidité de l'éprouvette. Ceci s'explique par l'apparition puis la propagation plus ou moins rapide d'une fissure interne. Le nombre de décrochements de force observés varie avec les conditions expérimentales (vitesse, température,...). Des chargements successifs réalisés après un temps de repos mettent en évidence l'autoréparation du bitume.

Abstract :

In order to understand cohesive fracture and healing of bitumen in asphalt pavement, a specific "repeated local fracture test" was developed. A piece of bitumen between two steel protuberance, simulating two aggregates, is submitted to successive tensions with a constant strain rate. During the loading path, the force value shows sudden drops. It is assumed to be internal crack propagation. Experimental conditions (strain rate, temperature,...) influence the number of drops and speed propagation. When several cycles separated by a rest period are applied, the sample strength increase highlights healing of bitumen.

Mots-clefs :

viscoélasticité ; rupture cohésive ; autoréparation

1 Introduction

La fatigue des enrobés bitumineux constitue l'un des principaux modes de détérioration des chaussées bitumineuses épaisses. L'évaluation du comportement à la fatigue est donc à la base des méthodes de dimensionnement dans de nombreux pays.

L'observation des carottes extraites de chaussées endommagées ou l'examen des échantillons de laboratoire testés en fatigue montrent que la rupture se produit le plus souvent à l'intérieur du film de mastic¹. Comme l'ont montré Moutier *et al.* (1990), la nature et l'origine du liant pour une composition et une granulométrie données ont un effet très important sur le comportement en fatigue en laboratoire des enrobés bitumineux. Afin de limiter ces dégradations, il est important d'évaluer la contribution du bitume lui-même et de déterminer les conditions d'initiation et de propagation des fissures dans les matériaux bitumineux.

¹Le mastic est un mélange de fines et de bitume

2 L'essai de Rupture Locale Répétée du Bitume

2.1 Principe

L'idée proposée par Stéfani (1987) consiste à étudier en laboratoire, la rupture et l'autoréparation d'un film mince de bitume soumis à des chargements répétés.

L'essai dit de "rupture locale répétée sur bitume" permet de solliciter en traction une pastille de bitume placée entre 2 protubérances convexes en acier formées chacune d'un tronc de cône terminé par une demi-sphère de 6mm de rayon qui représente le granulat.

2.2 Préparation de l'échantillon

L'échantillon de bitume est coulé à +100°C puis laissé au repos à +150°C pendant 15 minutes avant d'être refroidi pendant une dizaine d'heures dans un congélateur à -20°C.

L'échantillon de liant est ensuite placé entre les deux protubérances à +60°C. La température est maintenue constante pendant 10 minutes puis, afin de maîtriser l'épaisseur de film de bitume, les porte-échantillons sont mis en légère compression pendant la phase de descente à la température d'essai ($-20^{\circ}\text{C} < \theta_{essai} < 10^{\circ}\text{C}$).

2.3 Description d'un cycle d'essai

Une fois la température de consigne atteinte, l'éprouvette est soumise à plusieurs cycles de chargements. Les déplacements et forces mis en jeu sont enregistrés. Chaque cycle se décompose en trois phases (Fig. 1) :

- Phase 1 : dans cette phase de pré-charge, la compression passe de 5 à 1 daN pendant 20 secondes afin de récupérer les jeux éventuels dans le système et d'assurer la mise en traction de l'échantillon dès le démarrage de l'essai ;
- Phase 2 : l'échantillon de bitume est soumis à un déplacement imposé défini par la relation (1) :

$$l(t) = l_i \left(\frac{l_f}{l_i} \right)^{\frac{t}{t_f}} \quad (1)$$

L'épaisseur initiale de bitume l_i , le déplacement imposé ($l_f - l_i$) et la durée de l'essai t_f constituent les paramètres de l'essai ;

- Phase 3 : l'éprouvette retrouve sa position initiale. La durée de cette phase est variable (entre 2 minutes et 4 heures) ; elle est appelée "temps de repos".

Afin de rompre complètement l'échantillon, une traction finale à grande vitesse est effectuée. Il est alors possible d'observer les surfaces de rupture en relation avec les conditions expérimentales.

2.4 Interprétation de l'essai

Lors de la phase de chargement, après une croissance de l'effort, une ou plusieurs chutes de force sont observées. Elles peuvent s'expliquer par des propagations de fissures confinées à l'intérieur de l'échantillon. Leur nombre varie en fonction des conditions expérimentales : température, vitesse de sollicitation, niveau de déformation, temps de repos.

Afin d'affiner cette interprétation, une campagne expérimentale a été lancée pour étudier l'influence des paramètres d'essai vis à vis de la propagation de fissure, (§3). La mise en place

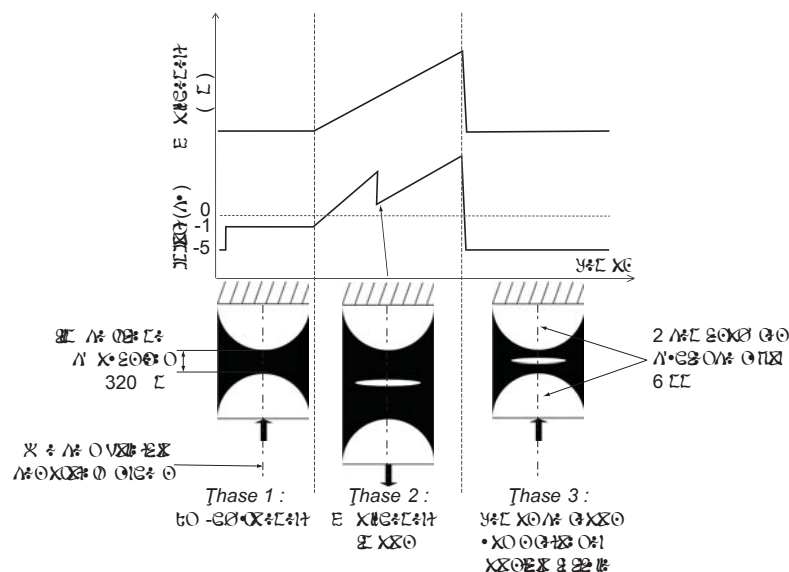


FIG. 1 – Déroulement d'un cycle de l'essai de Rupture Locale Répétée du Bitume

de méthodes CND, notamment par étude des émissions acoustiques permet de comprendre les phénomènes observés, (§4).

3 Etude paramétrique

Le bitume est un matériau viscoélastique thermosusceptible et l'étude de son comportement à la rupture nécessite la prise en compte des changements de caractéristiques mécaniques en fonction des conditions de sollicitation : vitesse, température. Les paramètres d'essais ont été fixés au regard de conditions de sollicitations réalistes dans l'enrobé. En se reportant aux travaux de Kose *et al.* (2000) et Bahia *et al.* (1999), certains de ces paramètres ont été fixés :

- le matériau de référence, bitume pur de grade 50/70 ;
- l'épaisseur initiale du film de liant, $320\mu\text{m}$ au niveau de l'axe de révolution des protubérances ;
- les déformations maximales appliquées, 33% ;
- le nombre de cycles par essai : 10.

Au cours de cette campagne d'essai, la rigidité initiale des échantillons permet de vérifier le comportement rhéologique du bitume.

3.1 Effet de la température

Dans cette campagne d'essais, la vitesse de déplacement est fixée à $100\mu\text{m.s}^{-1}$ et la température varie de -20 à $+10^\circ\text{C}$. La figure 2(a) montre l'influence de la température sur le comportement du bitume lors du premier cycle de sollicitation.

Pour des températures comprises entre -20 et $+5^\circ\text{C}$, les courbes effort-déplacement montrent que la force à la rupture est plus importante lorsque la température diminue, i.e. lorsque la rigidité de l'éprouvette augmente. Pour une température d'essai de 10°C , l'allongement et l'effort à la rupture sont plus importants que ceux relevés à 5°C . La réponse du matériau semble être différente : l'hypothèse du passage d'un comportement fragile à ductile peut alors être émise.

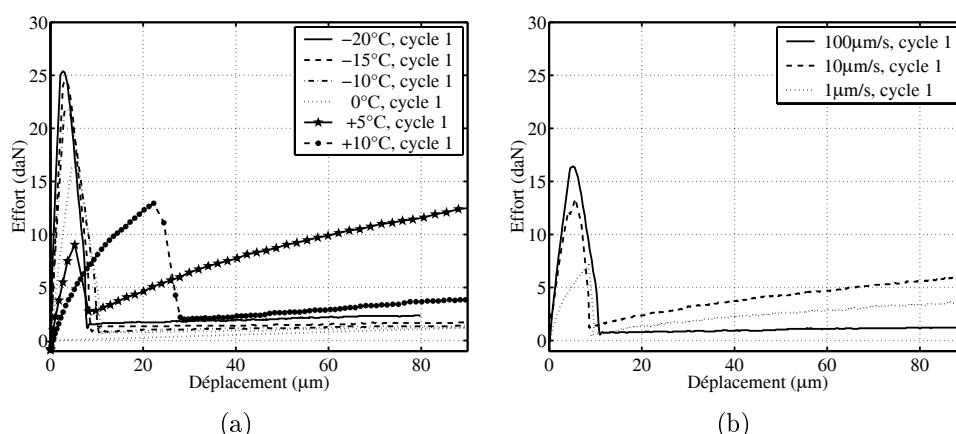


FIG. 2 – Effet des différents paramètres : Fig. 2(a) Effet de la température d'essai sur le comportement à la rupture pour un déplacement de $100\mu\text{m}$ en 1s ; Fig. 2(b), effet de la vitesse de sollicitation pour un déplacement de $100\mu\text{m}$ en 1, 10 et 100 seconde(s) à la température de 0°C

3.2 Effet de la vitesse

En s'appuyant sur les travaux de Bahia *et al.* (1999), Harvey (2000), Chang (1994), la plage de variation des vitesses de déformation a été fixée entre $3 \cdot 10^{-1}$ et $3 \cdot 10^{-3} \text{s}^{-1}$ pour une température d'essai de 0°C .

Les courbes effort-déplacement sur la figure 2(b) montrent que l'effort à la rupture est relié à la vitesse de déformation. Dans la gamme considérée, cet effort augmente avec la vitesse de sollicitation alors que le déplacement correspondant diminue.

3.3 Effet du temps de repos

L'effet de la durée du repos après retour à la position initiale (Fig. 1, phase 3) a également été étudié.

Lors du premier cycle de l'essai, une chute de rigidité de l'éprouvette est observée. L'hypothèse alors émise est celle d'une création d'une fissure interne à l'échantillon. Au second cycle, la rigidité initiale est supérieure à la rigidité finale du cycle précédent. Cette observation accrédite l'hypothèse d'une refermeture de la fissure. Ce phénomène est appelé autoréparation, Kausch (1987).

La figure 3 montre que le comportement au second cycle dépend de la température d'essai et du temps de repos. Pour une température de $+10^\circ\text{C}$, Fig. 3(a), 2 minutes de repos suffisent pour "recoller" les lèvres de la fissure alors qu'à 0°C , Fig. 3(b), 4 heures ne sont pas suffisantes pour récupérer la rigidité du premier cycle mais permettent une meilleure réparation qu'un repos de 2 minutes.

4 Etude par émission acoustique

Les résultats expérimentaux ont montré des chutes d'effort instantanées qui peuvent s'expliquer par une ouverture brutale de fissure. L'utilisation de méthodes de mesure par émission acoustique, Chang (1994), peut permettre de déterminer si la fissure s'initie et/ou se propage aux seules chutes d'effort ou tout au long de la phase de chargement.

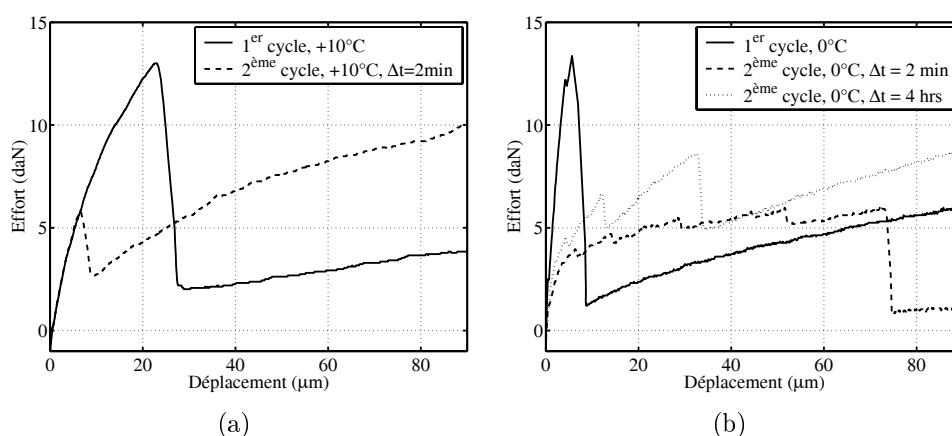


FIG. 3 – Mise en évidence de l'autoréparation : Fig. 3(a), à +10°C pour 2 minutes de temps de repos ; Fig. 3(b), à 0°C pour des temps de repos de 2 minutes et 4 heures.

Pour ce faire, un capteur d'émission acoustique dont la fréquence de résonance est de 60kHz est collé sur le dispositif porte-échantillon. Le seuil de détection d'activité acoustique est fixé à 35dB. Plusieurs paramètres sont enregistrés mais seuls les résultats en terme d'amplitude de signal et d'énergie sont présentés ici, Fig. 4.

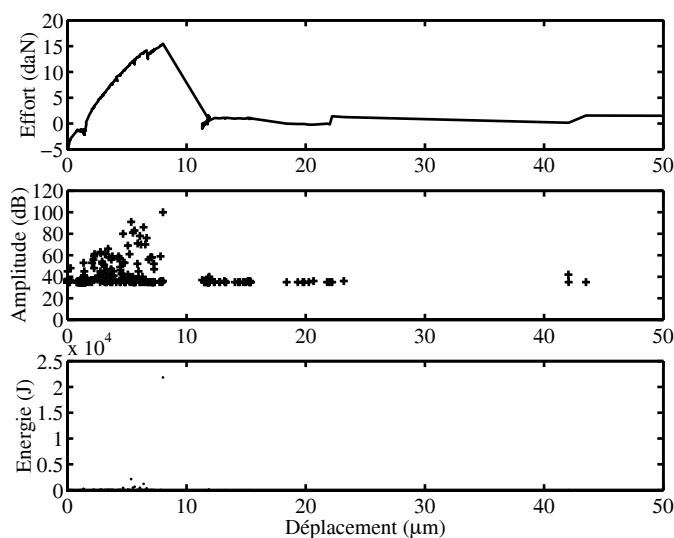


FIG. 4 – Emissions acoustiques enregistrées au cours d'un essai à 0°C et $11\mu\text{m.s}^{-1}$, 1^{er} cycle

Lors du premier cycle, la chute brutale d'effort s'accompagne d'une émission acoustique intense ($\approx 105\text{dB}$), de forte énergie avec un grand nombre de coups. Toutefois l'accroissement initial de l'effort correspond aussi à des émissions acoustiques intenses mais peu énergétiques. La fissure semble commencer à se développer dans cette phase avant d'atteindre un niveau énergétique important provoquant une propagation rapide. Les enregistrements des cycles suivants confirment cette tendance.

5 Synthèse des résultats expérimentaux

Les résultats de cette campagne d'essais permettent d'appréhender les facteurs influençant la rupture par décohésion du bitume : solliciter l'éprouvette à basse température et grande vitesse provoque une propagation soudaine de la fissure. En revanche, pour des températures plus élevées ou des vitesses plus faibles, le bitume semble avoir un comportement ductile.

Les mesures par émissions acoustiques permettent de montrer l'existence de phases de propagation de la fissure.

Aux vues de ces résultats, augmenter la température ou la durée du temps de repos permettrait une autoréparation de meilleure qualité.

6 Conclusions et perspectives

L'essai de Rupture Locale Répétée du Bitume permet de mettre en évidence la fissuration des liants bitumineux à basse température dans des conditions de sollicitations se rapprochant de celles rencontrées dans la chaussée. La campagne d'essai présentée ici permet de comprendre l'effet des différents paramètres sur les modes de rupture rencontrés. Ces résultats montrent également l'existence de l'autoréparation pour des températures faibles et permettent de comprendre l'augmentation de la durée de vie de l'enrobé après une période de repos entre des sollicitations. La mise en place de méthodes de suivi de la progression de la fissure (émission acoustique complétée par des études d'impédance mécanique et ultra sons) aidera à la compréhension des mécanismes mis en jeu. Parallèlement, une modélisation numérique de l'essai intégrant des modèles rhéologiques caractéristiques du bitume sera mise en place. Elle permettra de comparer la rigidité expérimentale de l'éprouvette avec celle calculée sur une géométrie fissurée ou non.

Références

- Bahia, H. U., Zhai, H., Bonnetti, K. & Kosi, S. 1999 Non Linear viscoelastic and fatigue properties of asphalt binders. *A.A.P.T.* **68**, 1–34.
- Chang, W. V. 1994 Application of acoustic emission to study the cohesive and adhesive strength of asphalt. *SHRP Report 1-682*, pp. 273.
- Harvey, J. 2000 Bitumen Film in Tension. *PhD Thesis, Cambridge University Engineering Department*.
- Kausch, H. H. 1987 Fracture mechanics studies of crack healing. 2nd (ed. Springer-Verlag).
- Kose, S., Guler, M., Bahia, H. H. & Masad, E. 2000 Distribution of strains within asphalt binders in HMA using imaging and finite element techniques. *In Transportation Research Board 79th Annual Meeting*.
- Moutier, F., Ramond, G., Such, C. & Bonnot, J. 1990 Influence of nature of asphalt cements on fatigue strength of asphalt-aggregates mixtures under imposed strain. *In SHRP conference "Sharing the benefits, England"*.
- Stéfani, C. 1987 Etude du phénomène de fatigue dans les matériaux composites bitumineux. *Communication privée*.