

Effet de la multi-axialité sur le renforcement de la durée de vie en fatigue du caoutchouc naturel chargé

Y. Mouslih^{1,2,3,*}, J.-B. Le Cam^{2,3}, B. Ruellan^{1,2}, F. Canevet^{1,2}, I. Jeanneau^{1,2}

¹ Contitech AVS France, Rennes, France.

²Elast-D³, Joint Research Laboratory, Continental - Institut de Physique UMR 6251, Rennes, France

³ Université de Rennes 1, Institut de Physique UMR 6251 CNRS/Université de Rennes 1, Rennes, France.

*Yasser.mouslih@univ-rennes1.fr

Mots-clés : Caoutchouc naturel chargé, cristallisation sous tension, fatigue multiaxial, renforcement, analyse microscopique.

Résumé :

Le caoutchouc naturel chargé de noir de carbone (CB-NR) compte parmi les élastomères les plus utilisés pour les applications antivibratoires. L'une de ces particularités est d'être capable de cristalliser sous tension mécanique. Depuis des décennies, des essais de fatigue uniaxiale ont été réalisés pour caractériser, comprendre et modéliser la résistance à la fatigue du CB-NR. Typiquement, le CB-NR présente un renforcement (augmentation) de la durée de vie en fatigue uni-axiale quand un chargement non relaxant (charge minimale strictement positive) lui est appliqué [1, 2]. Comme le renforcement de la durée de vie n'a pas été observé ou dans une moindre mesure pour les caoutchoucs non cristallisables [3, 4, 5], la cristallisation sous tension (CST) est généralement considérée comme responsable de ce renforcement. À la fin des années 2000, une attention particulière a été accordée à la fatigue multiaxiale afin de mieux répondre aux besoins des applications industrielles [6, 7, 8]. Pour autant, les chargements appliqués étaient principalement relaxants, ce qui n'est pas toujours le cas dans de nombreuses applications. La présente étude vise donc à étudier les effets de la multiaxialité sur le renforcement de la durée de vie en fatigue du CB-NR sous chargement non relaxant. Pour ce faire, des essais de fatigue en traction pure et en torsion pure avec différents rapports de charge ont été réalisés sur des échantillons de forme axisymétrique fabriqués avec le même matériau. Les résultats ont été analysés en utilisant le diagramme de Haigh. Tout d'abord, il a été montré que la torsion non relaxante induit un fort renforcement de la durée de vie, tout comme la traction non relaxante. Ensuite, l'endommagement induit par les différentes conditions de chargement a été analysé aux échelles macro- et microscopique. A l'échelle microscopique, des stries de fatigue attribuées à la CST [9] ont été observées. De la même manière que [10] dans le cas de fatigue uniaxiale, le rôle de la CST dans les mécanismes d'endommagement en fatigue multiaxiale a été déterminé et relié aux conditions de chargement en utilisant un pseudo-diagramme de Haigh.

- [1] S. M. Cadwell, R. A. Merrill, C. M. Sloman and F. L. Yost, "Dynamic Fatigue Life of Rubber," *Rubber Chemistry and Technology*, vol. 13, pp. 305-315, 1940.
- [2] B. Ruellan, J. B. Le Cam, I. Jeanneau, F. Canévet, F. Mortier and E. Robin, "Fatigue of natural rubber under different temperatures," *International Journal of Fatigue*, vol. 124, pp. 544-557, 2019.
- [3] N. Saintier, "Fatigue multiaxiale dans un élastomère de type NR chargé : mécanismes d'endommagement et critère local d'amorçage de fissure," Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2001.
- [4] J. H. Fielding, "Flex life and crystallization of synthetic rubber," *Industrial & Engineering Chemistry*, vol. 35, no. 12, pp. 1259-1261, 1943.
- [5] F. Abraham, T. Alshuth and S. and Jerrams, "The effect of minimum stress and stress amplitude on the fatigue life of non strain crystallising elastomers," *Materials & design*, vol. 26, no. 3, pp. 239-245, 2005.
- [6] N. Saintier, G. Cailletaud and R. Piques, "Multiaxial fatigue life prediction for a natural rubber," *International Journal of Fatigue*, vol. 28, no. 5-6, pp. 530-539, 2006.

- [7] J. B. Le Cam, B. Huneau and E. & Verron, "Fatigue damage in carbon black filled natural rubber under uni-and multiaxial loading conditions," *International Journal of Fatigue*, vol. 52, pp. 82-94, 2013.
- [8] W. V. Mars, *Multiaxial fatigue of rubber*, The University of Toledo, 2001.
- [9] J.-B. Le Cam and E. Toussaint, "The mechanism of fatigue crack growth in rubbers under severe loading: the effect of stress-induced crystallization," *Macromolecules*, vol. 43, no. 10, pp. 4708-4714, 2010.
- [10] B. Ruellan, J.-B. Le Cam and E. Robin, "Fatigue crack growth in natural rubber: The role of SIC investigated through post-mortem analysis of fatigue striations," *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 201, pp. 353-365, 2018.