



UNIVERSITÉ  
DE REIMS  
CHAMPAGNE-ARDENNE

**RAPPORT**

de professeur Jules Assih

sur la thèse de Doctorat de M. Tarik Hrima

**CHARGES CYCLIQUES DES ELASTOMERES EN ELASTO-VISCOSITE NONLINEAIRE**

présentée en vue d'obtenir le titre de DOCTEUR

de l'Université de Technologies Chimiques et de Métallurgie de Sofia

Cette thèse a été effectuée grâce au projet ERASMUS-MUNDUS 37222-1-2012-1-ES-ERA MUNDUS EMA 21, contrat 2012-2625/001-001-EMA2.

Monsieur Tarik Hrima (citoyen marocain) a une formation d'ingénieur chimiste - grade Master en *Chimie industrielle* de la Filière Francophone à l'Université de Technologies Chimiques et de Métallurgie de Sofia - BULGARIE.

Cette thèse est écrite sur 127 pages, contient 3 tableaux et 38 figures. 125 travaux scientifiques sont cités sur la liste des publications.

La littérature (chapitre 1) discute sur la mise en œuvre des élastomères, leurs propriétés rhéologiques et leur conduite en grandes déformations et charges cycliques. A la base des conclusions de cette recherche l'auteur pose le but du travail et les problèmes à résoudre.

Etudier et modéliser le comportement en charge cyclique des matériaux élastomères hyper-élastiques en utilisant la théorie héréditaire non-linéaire.

Les problèmes à résoudre sont: Prendre en compte les différentes lois de chargement cyclique en introduisant des équations intégrales et décrire d'une manière précise le comportement élasto-visqueux non linéaire des élastomères. Introduire l'équation d'Ogden dans la théorie héréditaire pour prédire le comportement des élastomères en grandes déformations. Décrire à l'aide de ces relations constitutives le comportement mécanique en charges cycliques. Prendre en compte l'effet Mullins dans le cadre de la théorie héréditaire en introduisant une fonction d'amortissement. En utilisant cette approche obtenir le facteur de perte des élastomères. En introduisant le diagramme amplitude-fréquence essayer à décrire l'effet Payne. Comparer les prédictions théoriques concernant les boucles d'hystérésis avec les données expérimentales. Etudier expérimentalement le comportement mécanique de différents élastomères produits à l'UCTM et mettre en évidence les caractéristiques principales de la réponse en contraintes et déformations sous charges cycliques. Les problèmes à résoudre sont bien posés et correspondent au but.

Dans le chapitre 2 le thésard introduit une somme de noyaux singuliers dans les équations intégrales décrivant la relaxation des contraintes. Dans le but de décrire les grandes déformations il utilise l'équation d'Ogden. Les résultats expérimentaux illustrent bien l'applicabilité de cette approche.

Le chapitre 3 concerne les modules complexes et le facteur de perte des solides viscoélastiques en charges cycliques. Ces modules sont exprimés par les fonctions fluage et relaxation et par les noyaux respectifs. Ces relations sont utiles pour la pratique. A la fin de ce chapitre quelques résultats concernant les courbes hystérétiques pour petites et grandes déformations et le facteur de perte sont présentés.

Le but du chapitre 4 est d'arriver à tenir compte de l'effet Mullins. L'auteur prend en considération cet effet en introduisant dans les équations héréditaires une fonction d'amortissement liée avec l'endommagement. Il a comparé les prédictions concernant l'effet Mullins ainsi que la diminution de la surface de perte avec des résultats des essais. On remarque qu'après 3-4 cycles la surface hystérétique reste pratiquement constante.

Dans le chapitre 5 M. Tarik Hrima introduit un diagramme amplitude-fréquence et arrive à décrire l'effet Payne par les équations héréditaires non-linéaires. Afin d'accomplir ce but il a décomposé les solutions des équations intégrales précédentes en séries de Fourier. Les résultats théoriques montrent que dans le cas de la déformation imposée, on a besoin de 3 membres dans les séries et de 2 membres dans le cas de contraintes imposées. Dans ce chapitre le thésard illustre beaucoup de courbes hystérétiques concernant deux matériaux (élastomères PI et BN) produits à l'UCTM de Sofia. On y remarque nettement les effets Mullins et Payne. A la fin de ce chapitre on donne des relations concernant une charge cyclique en contraintes tangentielles et déformations angulaires.

Le dernier chapitre 6 est consacré aux techniques expérimentales et aux dispositifs employés dans ce travail.

La Conclusion générale affirme que:

La somme de noyaux singuliers de relaxation proposée et l'introduction de l'équation instantanée d'Ogden dans l'équation constitutive intégrale décrit très bien le comportement mécanique des élastomères en charges cycliques.

On a introduit cette approche pour obtenir le facteur de perte des élastomères dans le cas de grandes déformations et contraintes respectives.

Cette approche constitutive, en introduisant une fonction d'amortissement, décrit bien les boucles d'hystérésis en tenant compte des effets Mullins et Payne.

Dans le cas de déformations et contraintes imposées on a obtenu les réponses respectives en tenant compte des effets mentionnés plus haut.

On a obtenu le diagramme amplitude-fréquence en utilisant l'approche non-linéaire héréditaire. Les essais confirment bien l'approche proposée.

On présente à la fin de la thèse quelques programmes en MATHCAD qui illustrent et confirment les résultats et qui peuvent être employés et développés dans d'autres cas pratiques.

M. Tarik Hrima a publié quatre travaux concernant cette thèse, dont un dans un journal européen et a présenté 2 posters, dont un en étranger.

Les publications font partie du travail et correspondent aux résultats de cette thèse.

J'accepte les prétentions du thésard concernant sa conclusion générale.

J'aimerais savoir l'avis du thésard sur une possibilité éventuelle de généraliser ce travail dans le cas de charges plus compliquées de point de vue lois de chargement, multi-axialité etc.

A la fin de mon rapport je voudrais souligner l'énorme travail effectué par M. Tarik Hrima. Ainsi je donne un avis très favorable à la soutenance de cette thèse auprès des autorités de l'Université de Technologies Chimiques et de Métallurgie de Sofia, ainsi qu'auprès des autorités d'ERASMUS MUNDUS suivant le contrat mentionné au début.

Fait à Reims, le 11.09.2016

Signature

