Simulation numérique du comportement des mousses polymériques sous compression cyclique

Giampiero Pampolini[1,2], Michel Raous[1]

[1]*LMA, 31 chemin Joseph Aiguier,13402 Marseille.*
[2]*Dipartimento di Ingegneria, Università di Ferrara, Via Saragat 1, 44100 Ferrara, Italie.*
Email: pampolini@lma.cnrs-mrs.fr; raous@lma.cnrs-mrs.fr

Mots clés**:** mousse polymérique, énergie de déformation non convexe, viscoélasticité, endommagement, simulations numériques.

Dans cette contribution, on propose une étude sur le comportement des mousses polymériques à porosité ouverte sous compression cyclique.

Les mousses polymériques ont acquis de l'importance ces dernières années, en raison de leurs caractéristiques mécaniques particulières et grâce à leurs nombreuses applications. En effet, elles sont utilisées pour l'isolation thermique et acoustique, pour les panneaux sandwich, pour l'absorption d'énergie due aux chocs et largement également pour l'emballage. Malgré cette large gamme d'utilisation, l'analyse, la compréhension et la simulation du comportement des mousses polymériques sous compression sont encore des questions très ouvertes.

Au cours d'essais de chargement cyclique en compression, on peut observer plusieurs phénomènes intéressants :

- une *localisation des déformations* en bandes de déformation perpendiculaires à la direction de la compression [1,2];
- un cycle d'*hystérésis* d'amplitude importante;
- une *perte progressive de résistance* à la charge au cours des cycles
- et une *dépendance* de la résistance à la *vitesse* de chargement [3].

Une description des ces phénomènes est ici obtenue obtenue avec un modèle complexe qui couple élasticité non linéaire, viscoélasticité [3] et endommagement [4]. La mousse polymérique est représentée comme une chaîne de ressorts avec une énergie de déformation non convexe. L'énergie non convexe permet aux ressorts d'avoir plusieurs configurations d'équilibre possibles (*phases*), et la localisation des déformations est décrite comme un changement progressif de phase des ressorts. La description des effets visqueux est obtenue avec l'addition de deux éléments dissipatifs, qui ont une loi de comportement de type Boltzmann Volterra. Enfin, on ajoute la prise en compte d'un endommagement de la mousse, qui permet de décrire la perte de résistance après le premier cycle. Dans un souci de simplification, on considère l'endommagement seulement sur les ressorts non linéaires.

Dans cette communication on décrira brièvement le modèle présenté dans [4] et on s'intéressera plus en détails à son implémentation numérique. Une attention particulière sera donnée au traitement numérique des changements de phase des ressorts.

Une part importante de la communication sera consacrée à la procédure d'identification des paramètres du modèle complet associant élasticité non linéaire, viscosité et endommagement. D'abord on identifiera les paramètres visqueux sur des courbes d'essai de relaxation. Celles-ci seront approchées par une série de 5 exponentielles afin de remonter aux paramètres du modèle de Maxwell utilisé. On associe pour cela une méthode de Prony qui permet de construire une bonne condition initiale pour le problème de minimisation de l'écart théorie/expérience qui est ensuite résolu. Pour la partie d'élasticité non linéaire, l'influence de chaque paramètre élastique sur la courbe de réponse est d'abord étudiée, puis l'identification du meilleur jeu de paramètres est réalisée. Enfin, le paramètre d'endommagement est identifié sur la réponse cyclique.

Les résultats des simulations numériques seront comparés sur toute une série d'expériences mettant en œuvre différents trajets de chargements. A titre d'exemple on présente sur la Figure 1 les résultats des simulations numériques et les courbes expérimentales pour 4 cycles de charge et décharge. Des essais plus complexes seront présentés lors de l'exposé. Ils montreront que le modèle associant élasticité non linéaire, viscoélasticité et endommagement permet une description correcte des comportements complexes observés lors des essais expérimentaux.

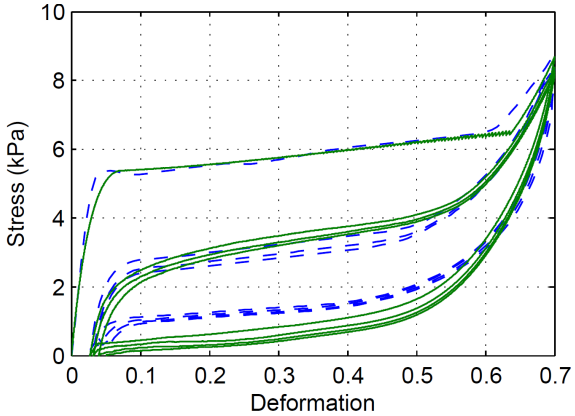

Figure 1. Courbes expérimentales (ligne pointillée) et résultats des simulations numériques (ligne pleine) pour 4 cycles de charge et décharge.

Références

[1] Gong L., Kyriakides S., Jang W.Y. (2005). *Compressive response of open-cell foams. Part I: Morphology and elastic properties.* Int. J. Solids Struct. 42, 1355-1379.

[2] Wang Y., Cuitinho A.M., *Full−field measurements of heterogeneous deformation patterns on polymeric foams using digital image correlation*. Int. J. Solids Struct. 39:3777−3796, 2002.

[3] Del Piero G.; Pampolini G., (2010) *The inelastic properties of open cell polymeric foams: experiments and theoretical model*, sous revision au J. Mech. Phys. Solids

[4] Pampolini G., Raous M., (2010). *Non linear elasticity, viscosity and damage in open-cell polymeric foams*, en préparation.