

Compressibilité de mousses polymères syntactiques

B. Paget, M. Zinet, Ph. Cassagnau

*Université de Lyon, Ingénierie des Matériaux Polymères, UMR-CNRS #5223,
Villeurbanne (France)*

Résumé :

Cette étude porte sur la compressibilité de mousses syntactiques à matrice polyuréthane. La littérature scientifique étant peu abondante sur ce sujet, une mousse syntactique modèle a été synthétisée en laboratoire pour permettre une meilleure caractérisation de ce matériau et de ses composants. En particulier, un moyen innovant de compression hydrostatique a été mis au point pour caractériser le comportement sous pression des microsphères et de la mousse. Les paramètres matériaux recueillis ont permis d'utiliser un modèle de la littérature pour simuler l'influence des différentes grandeurs sur la compression de mousses syntactiques. Ce modèle a également permis de prévoir et de hiérarchiser les caractéristiques des composants d'une mousse dont la compressibilité répondrait à un cahier des charges préétabli.

Abstract :

This study focuses on the compressibility of syntactic foams with polyurethane matrix. As there is little scientific literature on this subject, a model of syntactic foam has been synthesized in the laboratory to allow a better characterization of this material. In particular, an innovative hydrostatic compression system has been developed to characterize the pressure behaviour of microspheres and foam. The material parameters collected made it possible to use a model from the literature to simulate the influence of different quantities on syntactic foam compression. This model also made it possible to predict and prioritize the characteristics of the components of a foam.

Mots clefs : Mousse syntactique, compressibilité, modélisation

1 Introduction

Les mousses syntactiques, contrairement aux élastomères non chargés, sont fortement compressibles, et elles sont généralement soumises à la pression hydrostatique dans leurs applications industrielles, notamment dans le cas des revêtements acoustiques de sous-marins. Cette pression, qui augmente avec la profondeur de plongée du sous-marin, écrase les mousses syntactiques, ce qui pose deux problèmes majeurs. Le premier est que l'écrasement des mousses diminue le volume global du sous-marin et donc la poussée d'Archimède qu'il subit. Le second problème rencontré est que sous haute pression les microsphères des mousses syntactiques sont totalement écrasées; or les propriétés de ces mousses (mécanique, thermique, acoustique) dépendent directement de la présence de ces charges creuses.

L'objectif de cette étude est donc de mieux comprendre le comportement sous pression (0-15MPa) des mousses syntactiques à matrice polyuréthane. Pour parvenir à cet objectif, nous avons étudié une mousse syntactique modèle: chaque composant de cette mousse (matrice, microsphères) a été caractérisé afin de pouvoir modéliser sa compression. Ce modèle nous a ensuite permis de hiérarchiser l'influence des différents paramètres matériaux (module d'Young de la matrice, module d'Young des microsphères, taille et épaisseur des microsphères) sur la compressibilité de la mousse syntactique.

2 Matériaux et Méthodes

2.1 Matériaux

Le polymère utilisé comme matériau modèle est un élastomère de polyuréthane disponible dans le commerce sous la forme de deux précurseurs liquides (isocyanate & polyol). Le polyuréthane est obtenu en mélangeant les deux précurseurs avec un ratio massique isocyanate/polyol de 100/50 selon les recommandations du fournisseur. Le procédé de synthèse est donc un procédé en une seule étape. La réaction de polymérisation se déroule à température ambiante. Les microsphères utilisées pour la synthèse sont des microsphères de polymères thermoplastiques expansées, contenant un gaz volatile. La composition du polymère constituant leur coque n'a pu être précisée. La principale caractéristique des microsphères est leur faible densité ($\sim 25 \text{ kg/m}^3$). Les observations en microscopie électronique en balayage (MEB) montrent sur la fig 1 des images de sphères intactes et brisées nous permettant d'obtenir des informations sur l'épaisseur de la coque des microsphères ($\sim 300 \text{ nm}$).

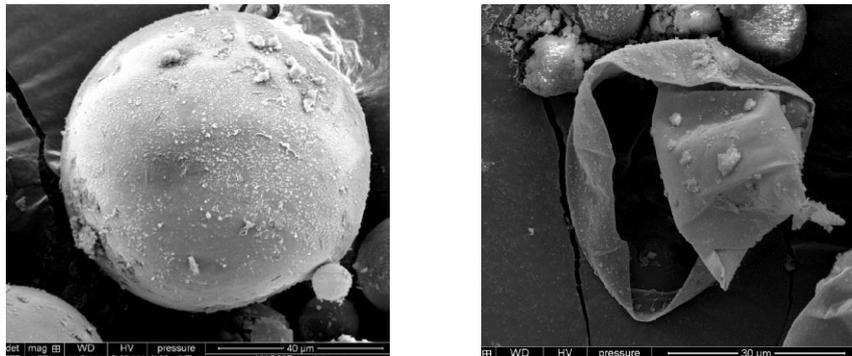


Fig 1 : Images MEB de microsphères

2.2 Méthodes : Mesure de compressibilité

Le test de compression classiquement utilisé dans le domaine des polymères est la compression confinée. Toutefois, l'inconvénient de ce test est que l'échantillon n'est pas dans des conditions purement isostatiques. Il ne permet donc pas de calculer directement le module d'élasticité isostatique. En outre, un tel essai nécessite beaucoup de matière, est relativement long et ne correspond pas tout à fait aux conditions d'utilisation finales des mousses syntactiques.

Pour pallier ces problèmes, nous avons créé un essai de compression hydrostatique en utilisant un rhéomètre capillaire RH7 de Malvern. Ce test consiste à comprimer dans une chambre fermée hermétiquement et remplie de liquide un échantillon de mousse syntactique de volume donné. Le liquide choisi est de l'eau distillée afin d'éviter un gonflement du polyuréthane sous l'effet d'un solvant organique. Les essais se déroulent à température ambiante.

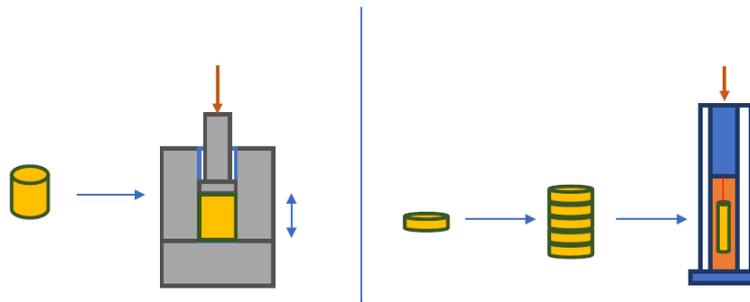


Fig 2 : test de compressibilité confinée et hydrostatique

3 Modèle

La matrice polymères est un élastomère homogène supposé incompressible. La distribution des microsphères est caractérisée par leur rayon (extérieur) A , leur épaisseur de coque H (rapport épaisseur de coque / rayon $X = H/A$) et par leur fraction volumique Φ . On suppose que la pression du gaz à l'intérieur des microsphères est la pression atmosphérique. L'élément de volume représentatif de la mousse syntactique est une portion sphérique de milieu avec un rayon S tel que $\Phi = (A/S)^3$, contenant une microsphère (Fig3). Dans ce modèle, $(\mu_i, E_i, \nu_i)_{i=m,s}$ désigne le module de cisaillement, le module de Young et le rapport de Poisson associés respectivement à la matrice (m) et à la microsphère (s).

De Pascalis et al [1] ont choisi d'intégrer la notion de " pression critique " dans leur modèle. La pression critique P_c a été définie par Fok et Allwright [2] comme la pression qui sépare deux états mécaniques différents du fluide. Si $P < P_c$, la microsphère et la matrice restent dans leur domaine linéaire et le modèle est de type linéaire élastique (pré-flexion). Si $P > P_c$, la microsphère se déforme, devient non sphérique et le modèle est donc non linéaire (Fig 3).

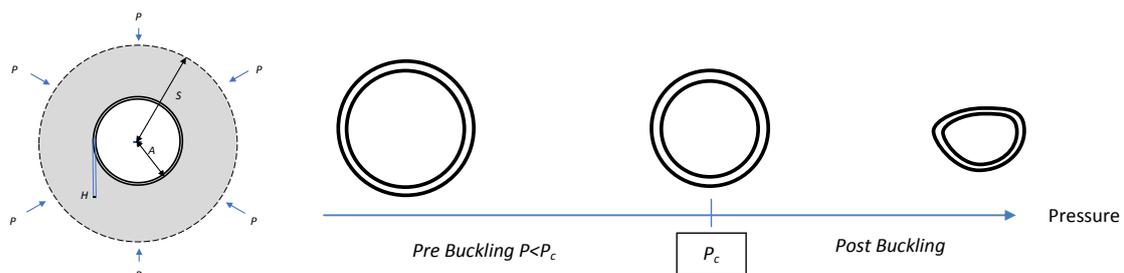


Fig 3 : Volume représentatif d'une mousse syntactique et définition d'une pression critique P_c .

La Figure 4 ci-dessous montre les prédictions du modèle en termes de variation de la compressibilité de la mousse syntactique avec la pression. Le meilleur ajustement est obtenu pour une pression critique trois plus grande que la pression critique théorique. Néanmoins, le modèle peut être utilisé en toute confiance pour déterminer quel paramètre matériel affecte le plus la compressibilité. On démontre ainsi que la distribution des microsphères et les propriétés mécaniques de l'enveloppe des microsphères ont une influence limitée sur le comportement de compression. En revanche, le renforcement de la matrice apparait comme être le paramètre d'ordre un et ainsi le seul moyen efficace pour limiter le changement de volume d'une mousse syntactique sous pression. Le module de Young

de la matrice utilisée au début de cette étude est de 6 MPa, alors que le modèle prévoit que cette valeur devrait être d'environ 30 MPa pour respecter une compressibilité admissible.

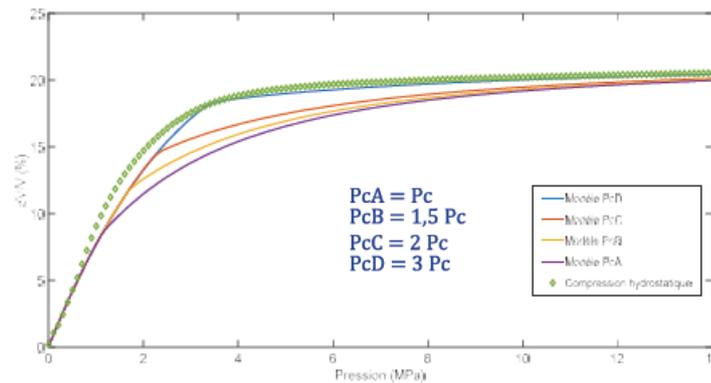


Fig 4 : Modélisation du comportement en compressibilité de la mousse syntactique. Le meilleur ajustement est obtenu pour une pression critique trois fois grande que la pression critique théorique.

4 Conclusion

Un test de compression hydrostatique a été mis au point à l'aide d'un rhéomètre capillaire. Cet essai de compression hydrostatique a été appliqué à l'étude d'une mousse syntactique. Cet essai présente l'avantage de nécessiter moins de matière et d'être plus proche des conditions d'utilisations industrielles qu'un essai de compression confinée.

La modélisation de la compressibilité de cette mousse syntactique à l'aide d'un modèle tiré de la littérature a été réalisée. Les simulations ont été ensuite comparées aux mesures en compression confinée ou hydrostatique. Malgré les quelques imprécisions du modèle, ce modèle nous a permis de déterminer que la compression est gouvernée principalement par le module d'Young de la matrice alors que les caractéristiques des microsphères jouent un rôle mineur.

5 Références

- [1] De Pascalis R, David Abrahams I, Parnell WJ. Predicting the pressure–volume curve of an elastic microsphere composite, *J Mech Phys Solids* 2013; 61: 1106–1123.
- [2] Fok S-L, Allwright DJ. Buckling of a spherical shell embedded in an elastic medium loaded by a far-field hydrostatic pressure. *J Strain Anal Eng Des* 2001; 36: 535–544.