



HAL
open science

Modèles d'ordre réduit pour la prédiction du comportement dynamique de liaisons amortissantes en élastomères

Benjamin Morin, Antoine Legay, Jean-François Deü, Bernard Troclet

► **To cite this version:**

Benjamin Morin, Antoine Legay, Jean-François Deü, Bernard Troclet. Modèles d'ordre réduit pour la prédiction du comportement dynamique de liaisons amortissantes en élastomères. 12e Colloque national en calcul des structures, CSMA, May 2015, Giens, France. hal-01511931

HAL Id: hal-01511931

<https://hal.science/hal-01511931v1>

Submitted on 21 Apr 2017

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.

Public Domain

Modèles d'ordre réduit pour la prédiction du comportement dynamique de liaisons amortissantes en élastomères

B. Morin¹, A. Legay¹, J.-F. Deü¹, B. Troclet²

¹ LMSSC, Conservatoire National des Arts et Métiers, {bejamin.morin,antoine.legay,jean-francois.deu}@cnam.fr

² Airbus Defence and Space, bernard.troclet@astrium.eads.net

Résumé — Grâce à leurs propriétés amortissantes, les élastomères sont couramment utilisés dans l'industrie pour atténuer les vibrations, notamment sous forme de liaisons entre pièces mécaniques. La modélisation élément finis de ces liaisons doit prendre en compte les non-linéarités géométriques ainsi que la loi de comportement hyper-visco-élastique du matériau. Ce type de modèle numérique peut s'avérer trop coûteux lorsqu'il s'agit de simuler l'assemblage de structures complexes. L'objectif de ce travail est de proposer des stratégies de réduction de modèles pour la liaison, basées sur des modèles à peu de degrés de liberté construits à partir d'essais numériques.

Mots clés — liaison amortissante, élastomère, dynamique non-linéaire, visco-élasticité, modèles réduits.

1 Introduction

Grâce à leurs propriétés amortissantes les matériaux élastomères sont couramment utilisés dans l'industrie pour réaliser des pièces anti-vibratoires notamment sous la forme de liaisons (ou jonctions) entre sous-systèmes d'ensembles mécaniques. Ces liaisons sont généralement composées de divers matériaux (métalliques, composites et élastomères) et ont des géométries complexes adaptées au domaine d'application. Dans l'industrie spatiale, ce type de liaison est par exemple utilisé pour protéger la charge utile (satellite) ou les équipements embarqués (cartes électroniques) des sollicitations dynamiques subies par le lanceur au décollage ou lors des séparations des étages par découpes pyrotechniques. Pour prédire le comportement dynamique de ces liaisons dans leur environnement, des modèles doivent être développés. Ces modèles sont complexes à mettre en place car ils nécessitent à la fois :

- de connaître le comportement dynamique des matériaux constitutifs (en particulier des élastomères) ;
- d'être capable de modéliser la liaison dans sa globalité, par exemple via des modèles éléments finis non-linéaires géométriques ;
- de pouvoir estimer l'efficacité de ces dispositifs d'amortissement sur le comportement dynamique des sous-systèmes connectés.

Il existe aujourd'hui peu de modèles prédictifs pour ce type de problématique et les développements sont souvent empiriques et basés sur des expérimentations coûteuses. Le travail proposé dans cette étude concerne le développement de modèles réduits efficaces de liaisons flexibles amortissantes en élastomère pour la prédiction du comportement dynamique de systèmes complexes.

Dans un premier temps, un code de calcul éléments finis tridimensionnel en dynamique non-linéaire hyper-visco-élasticité est développé. Dans un second temps, des modèles réduits sont proposés. Ils sont basés sur des lois entrée-sortie reliant les grandeurs généralisées des faces d'appuis de la liaison (torseurs cinématiques et d'efforts) et sont construits à partir d'essais numériques menés sur la liaison tridimensionnelle seule. Les essais expérimentaux classiquement réalisés sur ce type de pièce sont ici remplacés par des essais virtuels moins coûteux.

2 Comportement hyper-visco-élastique d'un élastomère

Le comportement hyperélastique de l'élastomère constituant la liaison est modélisé par un modèle de Yeoh (1993). Cette loi de comportement est retenue pour sa capacité à reproduire les courbes contraintes-

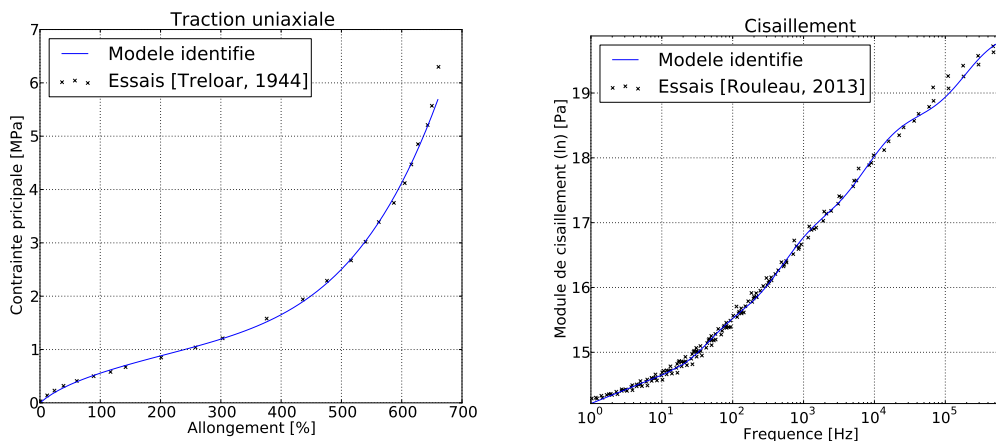


FIGURE 1 – Modèles hyperélastique et viscoélastique identifiés à partir d’expérimentations

déformations caractéristiques des essais de traction des élastomères jusqu’à un haut niveau d’allongement. Le modèle de Yeoh est caractérisé uniquement par trois paramètres matériaux à identifier expérimentalement.

Le comportement viscoélastique est quant à lui représenté par un modèle de Maxwell généralisé. Il est composé d’un élément rhéologique de Hooke en parallèle avec plusieurs éléments de Maxwell qui permettent de reproduire les phénomènes de relaxation et de fluage. En transformation finie, la loi de comportement de la viscoélasticité linéaire doit être adapté pour tenir compte des non-linéarités géométriques [1, 4].

Le modèle ainsi construit relie le tenseur des contraintes de Piola-Kirchoff 2 au tenseur des déformations de Green-Lagrange. Une séparation des parties isochore et volumique est également effectuée car les essais montrent que la viscoélasticité affecte principalement la partie isochore. Un exemple d’identification des paramètres du modèle hyperélastique de Yeoh (obtenus à partir des essais de L.R.G Treloar [3]) et du modèle viscoélastique de Maxwell généralisé (issus d’essais DMA proposés par L. Rouleau [5]) est présenté figure 1.

3 Modèle réduit de la liaison amortissante

En dynamique linéaire, les approches classiques utilisent des projections sur bases modales adaptées aux structures fortement amorties [6]. En non-linéaire, différentes méthodes de réduction peuvent être envisagées comme par exemple l’utilisation de modes non-linéaires ou de méthodes dérivées de décompositions en valeurs singulières (voir par ex. [7]).

Nous proposons dans ce travail de construire des modèles de la liaison à peu degrés de liberté qui permettent de représenter son comportement dynamique dans des assemblages complexes de sous-structures linéaires. Ces modèles réduits sont obtenus à partir d’essais numériques caractéristiques des sollicitations susceptibles d’être subies par la liaison dans son environnement. L’idée est de construire une loi de comportement reliant les grandeurs généralisées des faces de la liaison en contact avec les sous-structures. Les grandeurs généralisées sont choisies comme étant les composantes des torseurs cinématiques et d’efforts de ces faces. Étant donné qu’un tel comportement dépend de nombreux paramètres comme par exemple la direction, le niveau ou la fréquence du chargement, des techniques d’interpolations peuvent être mises en place pour construire à moindre coût les surfaces de réponse qui alimentent le modèle réduit.

4 Applications

On considère une liaison ayant la forme caractéristique d’un diabol. Son corps est en élastomère et ses faces inférieure et supérieure sont composées de plaques en aluminium. Les dimensions de la liaison et les paramètres de Yeoh de l’élastomère sont présentés figure 2, ces derniers paramètres sont issus de l’identification présentée figure 1. Les simulations sont réalisées à l’aide du code de calcul développé en

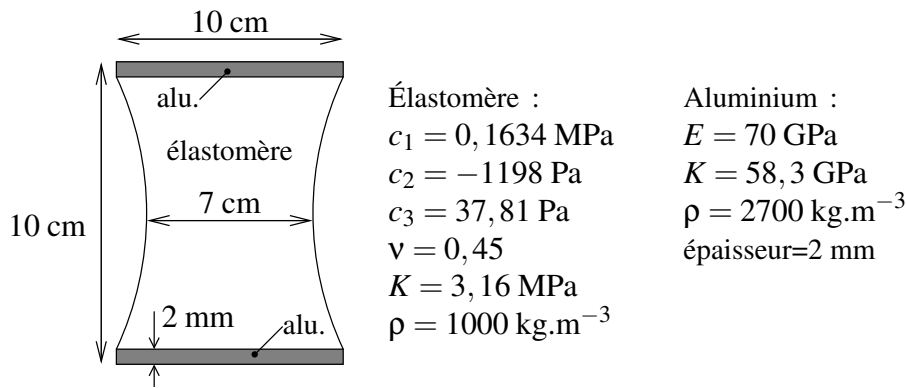


FIGURE 2 – Géométrie et données matériaux de la liaison

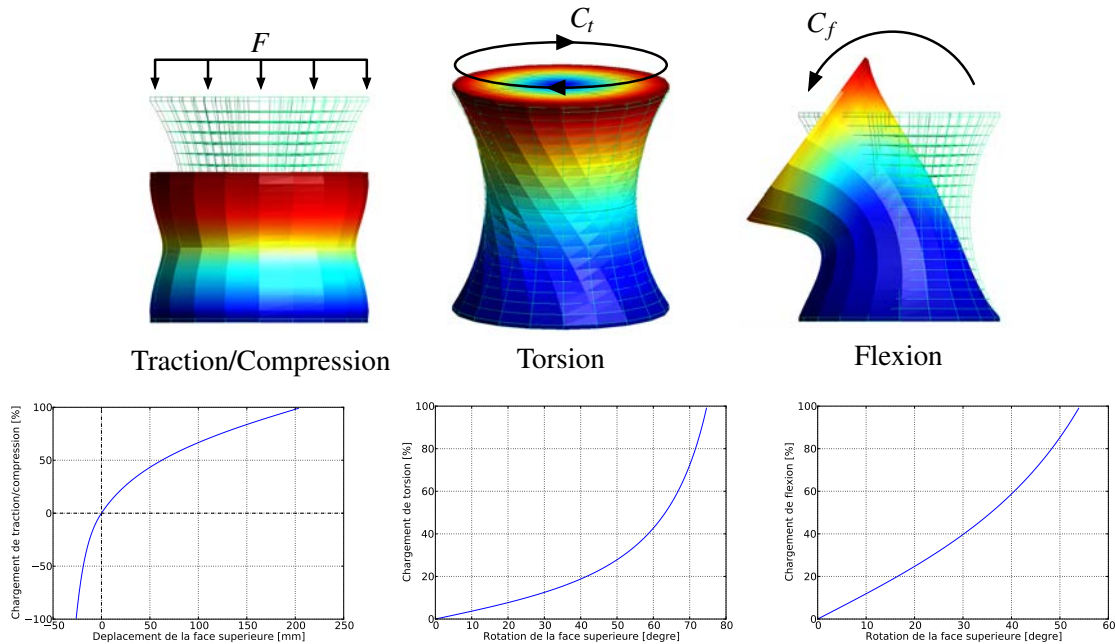


FIGURE 3 – Déformées et courbes efforts/déplacements pour les trois cas de chargement

Python et en fortran. Ce code utilise des éléments finis hexaédriques à 8 nœuds ainsi qu'un algorithme classique de Newton-Raphson pour la partie non-linéaire combiné à un schéma de Newmark pour la partie temporelle.

4.1 Étude quasi-statique non-linéaire

Une étude quasi-statique est tout d'abord réalisée. Elle permet de simuler des précontraintes pour trois types de chargements : traction/compression, flexion et torsion. Ces chargements sont appliqués sous la forme d'un torseur d'efforts équivalents sur la face supérieure de la liaison tandis que la face inférieure est encastree.

La réponse de la liaison est représentée en fonction des mouvements de corps rigide de la plaque supérieure. Les résultats pour les trois cas de chargements sont présentés figure 3. Ces résultats sont validés par comparaison avec ceux issus de simulations menées avec LS-DYNA non présentées ici. On observe le caractère disymétrique des comportements en traction et compression ainsi que des non-linéarités marquées pour les trois types de sollicitations.

4.2 Étude dynamique non-linéaire en viscoélasticité

Les premières simulations en dynamique sont effectuées dans le domaine linéaire autour d'un état précontraint. Les modèles réduits sont dans ce cas relativement simples à obtenir car en lien avec les

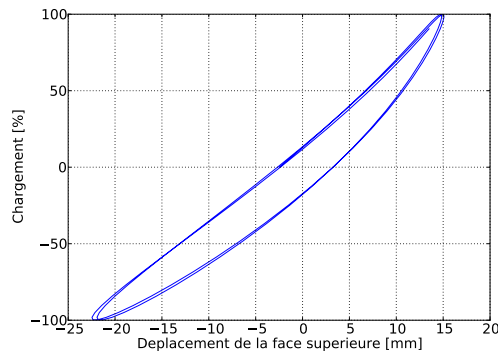


FIGURE 4 – Courbes d’hystérésis pour la flexion en dynamique

modes propres de la liaison autour de sa configuration précontrainte. On peut dans ce cas réaliser des simulations à moindre coût dans le domaine fréquentiel et optimiser ainsi l’amortissement apporté par la liaison.

Si l’amplitude des excitations est plus importante, des simulations dynamiques non-linéaires sont nécessaires et doivent être réalisées dans le domaine temporel. Un exemple de résultat typique du comportement hyper-visco-élastique en régime établi de la liaison est présenté figure 4. Les travaux en cours portent sur la mise en œuvre l’approche proposée précédemment pour obtenir des modèles réduits de liaisons amortissantes.

Références

- [1] M. Kaliske, H. Rothert. *Formulation and implementation of three-dimensional viscoelasticity at small and finite strains*, Computational Mechanics, vol. 19, 228-239, 1997.
- [2] O. H. Yeoh. *Some Forms of the Strain Energy Function for Rubber*, Rubber Chemistry and Technology, vol. 66, 754-771, 1993.
- [3] L.R.G. Treloar. *The physics of rubber elasticity*, Oxford university press, 1958.
- [4] G.A. Holzapfel. *On large strain viscoelasticity : Continuum formulation and finite element applications to elastomeric structures*, International Journal for Numerical Methods in Engineering, vol. 39, 3903-3926, 1996.
- [5] L. Rouleau, J.-F. Deü, A. Legay, F. Le Lay, *Application of Kramers-Kronig relations to time-temperature superposition for viscoelastic materials*, Mechanics of Materials, vol. 65, 66-75, 2013.
- [6] L. Rouleau, J.-F. Deü, A. Legay. *Review of reduction methods based on modal projection for highly damped structures*. Proceedings of the WCCM XI, Barcelona, Spain, July 20-25, 2014.
- [7] D. Ryckelynck, F. Vincent, S. Cantournet, *Multidimensional a priori hyper-reduction of mechanical models involving internal variables*, Comp. Meth. in Applied Mechanics and Engineering, vol. 225-228, 28-43, 2012.