



**HAL**  
open science

## Simulation vibratoire des structures assemblées sous excitation harmonique

Anthony Meurdefroid, Gaël Chevallier, Nicolas Peyret, Jean-Luc Dion

► **To cite this version:**

Anthony Meurdefroid, Gaël Chevallier, Nicolas Peyret, Jean-Luc Dion. Simulation vibratoire des structures assemblées sous excitation harmonique. CFM 2015 - 22ème Congrès Français de Mécanique, Aug 2015, Lyon, France. hal-03446505

**HAL Id: hal-03446505**

**<https://hal.science/hal-03446505v1>**

Submitted on 24 Nov 2021

**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.

# Simulation vibratoire des structures assemblées sous excitation harmonique

A. Meurdefroid<sup>b</sup> G. Chevallier<sup>a</sup> N. Peyret<sup>b</sup> J.-L. Dion<sup>b</sup>

a. FEMTO-ST UMR6174, Université de Franche Comté, F-25000 Besançon, gael.chevallier@femto-st.fr  
 b. LISMMA - EA2336, SUPMECA PARIS, F-93400 Saint-Ouen

Ce travail porte sur les méthodes de calcul pour la simulation de structures assemblées. L'objectif est de comparer différentes méthodes pour la résolution des équations différentielles non-linéaires qui régissent le comportement de ces structures dans les domaines temporel et fréquentiel. Le fil rouge de la comparaison est une structure simple pour laquelle nous disposons de résultats numérique et expérimentaux. La réponse de la structure sous une excitation harmonique est étudiée en considérant le régime transitoire puis en ne calculant que le régime permanent. La discussion porte les formulations différentes des éléments de Jenkins, avec et sans régularisation, adapté à chaque type de simulation, en terme de précision, de temps de calcul et de facilité d'utilisation dans les algorithmes standards de calcul.

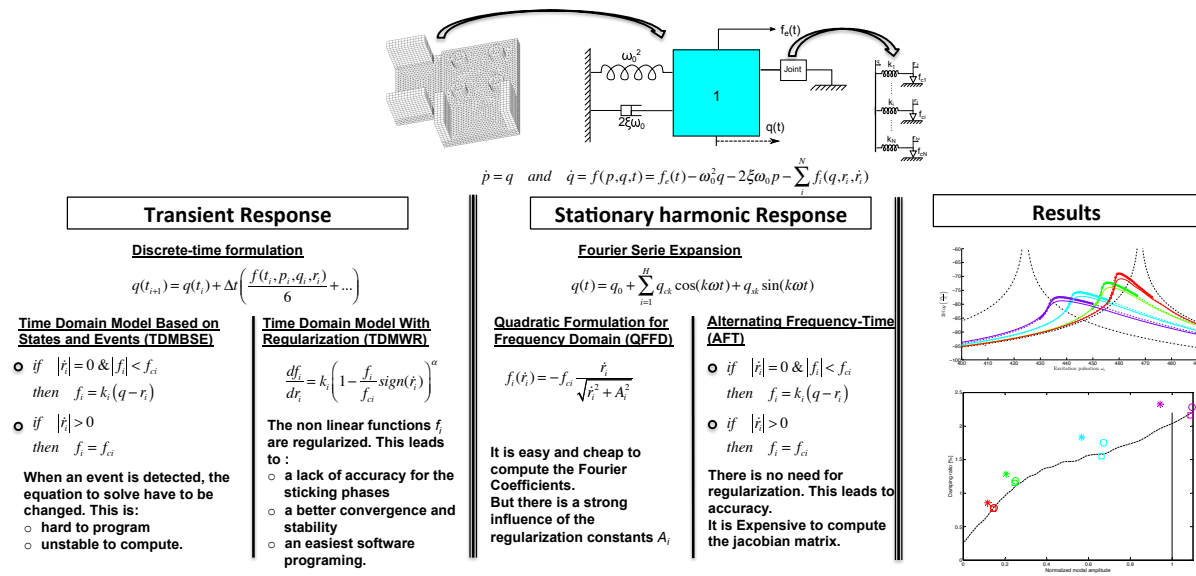


Figure 1: Différentes approches pour la simulation des réponses périodiques : - - - TDMWR; — QFFD; o-o-o AFT ;  $f_e = 4$ ;  $f_e = 2$ ;  $f_e = 0.5$ ;  $f_e = 0.2$ ; - · - Réponses linéaires dans le cas d'un système adhérent et d'un système glissant

Pour la conception de structures assemblées; les liaisons sont une sources importantes de dissipation d'énergie vibratoire et donc d'amortissement. La position des liaisons, les dimensions, les matériaux sont les paramètres de conception les plus importants. Pour concevoir les structures et déterminer les paramètres de conception, il est d'usage de simuler numériquement les tests de mise à l'épreuve prévue par les normes en vigueur. L'une des difficultés rencontrées par les ingénieurs à ce stade est le caractère multi-échelle de ce type de simulation. D'un point de vue **Local** (*i.e.* **Echelle de la dimension des contacts**), la structure peut être simulée en utilisant les principes de l'elasto-dynamique, les lois de comportement et un modèle de contact avec frottement, voir Peyret et al. [1]. La méthode des Elements Finis est souvent utilisée pour traiter de géométries complexes, voir Caignot et

al. [2]. D'un point de vue **global** (*i.e.* **Echelle des longueurs d'onde de vibrations**), Il est fréquent d'utiliser des modèles réduits *Reduced Order Model (ROM)* de la structure, souvent basés sur la projection sur la base modale, et de la liaison en utilisant des modèles rhéologiques, d'Iwan, de Dhal ou de Jenkins, voir Segalman [3] par exemple. Les paramètres des modèles rhéologiques peuvent être identifiés à partir de simulations locales. Il est possible d'effectuer la connexion entre les échelles en utilisant les travaux de Festjens et al. [4]. Dans cette contribution, c'est la décomposition en composantes principales de la base modale restreinte à la zone géographique de la liaison qui permet de lier les sollicitations de la liaison aux amplitudes modales. Dans le travail que nous présentons, nous faisons l'hypothèse que cette réduction a été effectuée et nous travaillons sur un modèle à un degré de liberté associé à un modèle de liaison de Iwan.

Les tests de mise à l'épreuve prévue par les normes en vigueur se différencient par la nature du signal d'excitation : transitoire (chocs), périodique ou aléatoire. Dans ce travail, nous proposons des solutions pour les deux premiers types de signaux. Pour les excitations périodiques, seul le régime permanent est analysé. En conséquence, la simulation des tests transitoires se fait généralement dans le domaine temporel tandis que la simulation des tests périodiques se fait dans le domaine fréquentiel. A cause du comportement non-linéaire et hystérétique des liaisons, la méthode d'équilibrage harmonique est utilisée plutôt que la transformée de Fourier. Dans le domaine temporel et dans le domaine fréquentiel, le fait que les modèles de liaisons soient non réguliers pose problème et peut rendre les simulations coûteuses. Dans ces travaux, nous discutons l'intérêt de la régularisation des modèles tant dans le domaine temporel, voir Quinn et al. [5] par exemple que dans le domaine fréquentiel. Dans le domaine temporel, nous comparons deux solveurs pas à pas, pour l'un, basé sur la détection des transitions adhérence-glisement pour gérer la singularité du modèle de liaison, pour l'autre, basé sur une régularisation utilisant l'introduction d'une nouvelle variable d'état. Dans le domaine fréquentiel, nous comparons deux solveurs effectuant un équilibrage harmonique à partir de la décomposition de la solution en série de Fourier. Le premier utilise une régularisation polynomiale dans le domaine fréquentiel de la force non-linéaire, le deuxième utilise la méthode dite *alternating-frequency-time*, voir Cameron et al. [6] par exemple, sans régularisation. Pour comparer les quatre formulations, les orbites stationnaires sous excitation sinusoïdale sont analysées à différents niveaux et différentes fréquences d'excitation autour de la fréquence de résonance. Les résultats obtenus en intégration pas à pas, sans régularisation, servent de référence de comparaison. Les trois indicateurs suivants nous permettent d'évaluer la précision des algorithmes : la Fonction de Réponse en Fréquence (FRF), en ne conservant que la première harmonique de la solution, la fréquence de résonance, le taux d'amortissement, voir figure 1.

## References

- [1] Peyret, N., Dion, J.-L., Chevallier, G., and Argoul, P., 2010. "Micro-slip induced damping in planar contact under constant and uniform normal stress". *International Journal of Applied Mechanics*, **2**(02), pp. 281–304.
- [2] Caignot, A., Ladeveze, P., Neron, D., and Durand, J.-F., 2010. "Virtual testing for the prediction of damping in joints". *Engineering Computations*, **27**(5), pp. 621–644.
- [3] Segalman, D. J., 2005. "A four-parameter iwan model for lap-type joints". *Transactions ASME - Journal of Applied Mechanics*, **72**(5), p. 752.
- [4] Festjens, H., Chevallier, G., and Dion, J., 2014. "Nonlinear model order reduction of jointed structures for dynamic analysis". *Journal of Sound and Vibration*, **333**(7), pp. 2100–2113.
- [5] Quinn, D. D., 2004. "A new regularization of coulomb friction". *Journal of Vibration and Acoustics*, **126**(3), p. 391.
- [6] Cameron, T., and Griffin, J., 1989. "An alternating frequency/time domain method for calculating the steady-state response of nonlinear dynamic systems". *Journal of applied mechanics*, **56**(1), pp. 149–154.