



### Science Arts & Métiers (SAM)

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers ParisTech researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <https://sam.ensam.eu>  
Handle ID: <http://hdl.handle.net/10985/10474>

#### To cite this version :

Fessal KPEKY, Hakim BOUDAUD, Farid ABED-MERAIM, El Mostafa DAYA - Modélisation par éléments finis de type solide-coque de structures piézoélectriques - In: 22ème Congrès Français de Mécanique, France, 2015-08-24 - Actes du 22ème Congrès Français de Mécanique - 2015

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : [archiveouverte@ensam.eu](mailto:archiveouverte@ensam.eu)





## Science Arts & Métiers (SAM)

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers ParisTech researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <http://sam.ensam.eu>  
Handle ID: [.http://hdl.handle.net/null](http://hdl.handle.net/null)

### To cite this version :

Fessal KPEKY, Hakim BOUDAUD, Farid ABED-MERAIM, El Mostafa DAYA - Modélisation par éléments finis de type solide-coque de structures piézoélectriques - In: 22ème Congrès Français de Mécanique, France, 2015-08-24 - Actes du 22ème Congrès Français de Mécanique - 2015

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : [archiveouverte@ensam.eu](mailto:archiveouverte@ensam.eu)

# Modélisation par éléments finis de type solide-coque de structures piézoélectriques

**F. KPEKY<sup>a\*</sup>, H. BOUDAOU D<sup>a</sup>, F. ABED-MERAIM<sup>b,c</sup>, E.M. DAYA<sup>a,c</sup>**

- a. Laboratoire d'Étude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux (LEM3), UMR CNRS 7239, Université de Lorraine, Ile du Saulcy Metz Cedex 01, France
- b. Laboratoire d'Étude des Microstructures et de Mécanique des Matériaux (LEM3), UMR CNRS 7239, Arts et Métiers ParisTech, 4 rue A. Fresnel, 57078 Metz Cedex 03, France
- c. Laboratory of Excellence on Design of Alloy Metals for low-mAss Structures (DAMAS)

## Résumé :

Dans les dernières décennies, les structures à parois minces intégrant des couches ou patches de matériaux piézoélectriques ont eu un essor. Ils sont utilisés pour le contrôle des vibrations et de forme, le contrôle acoustique, l'auscultation d'ouvrage de génie civil et aussi dans le domaine de la santé, entre autres. La prédiction du comportement de tels matériaux devient donc indispensable pour leur bonne mise en œuvre. L'un des moyens les moins onéreux pour ce faire est la modélisation numérique, dont le plus répandu demeure la méthode des éléments finis. Depuis les premiers travaux d'Allik et Hughes [1], plusieurs outils ont été proposés dans la littérature pour modéliser le mieux possible les structures piézoélectriques. Beaucoup d'éléments finis tant 2D que 3D ont été développés. Malgré tous ces modèles présents dans la littérature, force est de constater une pénurie d'éléments capables de modéliser à moindre coût des structures combinant couches fines et couches épaisses. La seule alternative demeure un maillage fin avec des éléments volumiques.

Ce travail propose l'extension des éléments finis SHB8PS et SHB20, respectivement présentés dans [2-3], pour la modélisation des structures contenant des matériaux piézoélectriques. Pour ce faire, des degrés de libertés électriques ont été greffés aux éléments ci-haut en vue de prendre en compte le couplage mécanique-électrique. La loi de contrôle de type PD (Proportional Derivative) a été implémentée pour le contrôle des vibrations. Pour résoudre ce dernier, le solveur « diamant » (Différentiation Automatique de la Méthode Asymptotique Numérique Typée) [4] a également été étendu. Ceci a permis de résoudre le problème en prenant en compte la dépendance en fréquence résultant de la partie en vitesse de la loi de contrôle.

Pour valider cette nouvelle approche, des tests en statique et vibrations ont été effectués sur des poutres, plaques et coques dans diverses configurations. Les résultats sont confrontés à ceux donnés par les éléments de référence C3D20E (3D quadratique avec ddls piézoélectriques) d'Abaqus et les éléments HEX20E (éléments hexaédriques basiques à interpolation quadratique et avec ddls piézoélectriques). Ce dernier choix (HEX20E codé dans Matlab) est motivé par le fait que certains calculs, tels que la prise en compte du contrôle, ne pouvaient pas se faire avec Abaqus. Il ressort de tous ces cas tests que les éléments SHB8PSE et SHB20E nécessitent moins de degrés de liberté que le C3D20E pour converger. Quelques résultats phares de la modélisation proposée sont présentés ci-dessous.

- Contrôle de forme d'une plaque sur appuis simples déformée par une charge uniformément répartie de  $200 \text{ N.m}^{-2}$ .

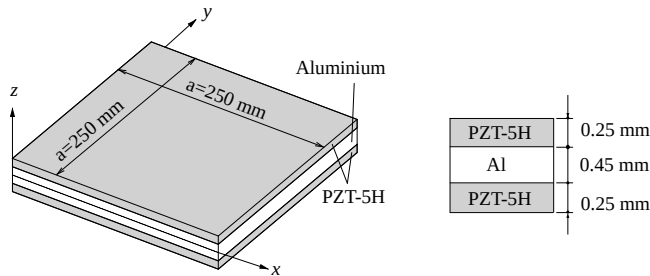


Fig 1. Plaque sandwich sur appuis simples.

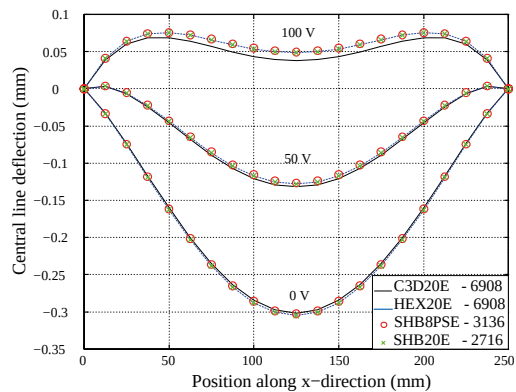


Fig 2. Flèche de la ligne médiane de la plaque articulée sous une pression de  $200 \text{ N.m}^{-2}$  et différentes tensions.

- Réponse fréquentielle d'une plaque sur appuis simples à 5 couches piézoélectrique/élastique/viscoélastique/élastique/piézoélectrique sous une charge de 1000 N appliquée au centre.

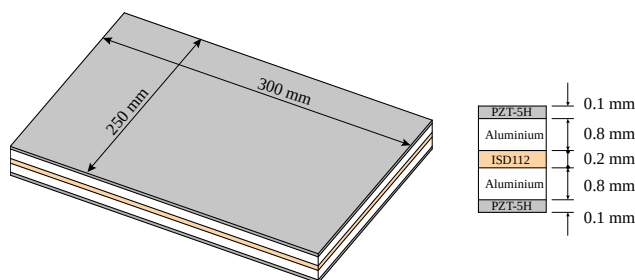


Fig 3. Plaque sur appuis simples à 5 couches.

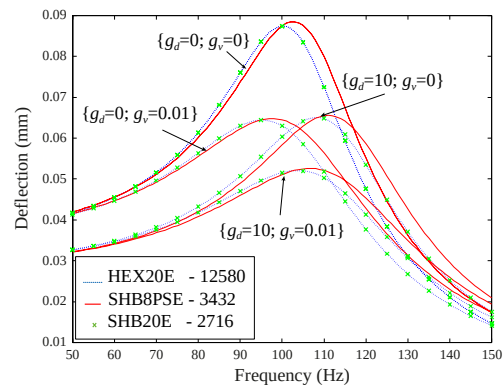


Fig 4. Réponse fréquentielle autour du 1<sup>er</sup> mode de flexion évaluée au centre de la plaque

## Références

- [1] H. Allik, T.J.R. Hughes, Finite element method for piezoelectric vibration, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 1970, pp. 151-157.
- [2] F. Abed-Meraim, A. Combescure, An improved assumed strain solid-shell element formulation with physical stabilization for geometric non-linear applications and elastic-plastic stability analysis, International Journal for Numerical Methods in Engineering, 2009, pp. 1640-1686.
- [3] F. Abed-Meraim, V.D. Trinh, A. Combescure, New quadratic solid-shell elements and their evaluation on linear benchmark problems, Computing, 2013, pp. 373-394.
- [4] M. Bilasse, I. Charpentier, E.M. Daya, Y. Koutsawa, A generic approach for the solution of nonlinear residual equations. Part II: Homotopy and complex nonlinear eigenvalue method, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2009, pp. 3999-4004.