

## Stage de Master 2

### Conception et mise en œuvre d'un dispositif semi-passif de récupération d'énergie vibratoire basé sur le concept de pompage énergétique et la piézoélectricité

**Mots-clés :** vibrations ; absorbeurs dynamiques non linéaires ; récupération d'énergie mécanique ; piézoélectricité

Ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre général de l'atténuation dans les structures mécaniques des vibrations néfastes associée à la récupération d'énergie.

En mécanique ou en acoustique, le contrôle de vibrations est un champ de recherche très actif. Actuellement, trois grands types de technologie sont majoritairement utilisées dans l'industrie : le contrôle passif par dissipation, le contrôle passif à l'aide d'absorbeurs dynamiques et le contrôle actif, chacune de ses techniques possédant ses avantages et ses inconvénients. Parmi ces approches, les absorbeurs dynamiques passifs non linéaires de type NES (*Nonlinear Energy Sink*) [1,2,3] ont montré leur efficacité comme solution alternative aux moyens de contrôle passifs linéaires de type TMD (*Tuned Mass Damper*) [4].

La récupération d'énergie mécanique à l'aide de matériaux piézoélectriques est également un domaine de recherche actif depuis une vingtaine d'années [5]. Les principaux aspects étudiés sont le matériau piézoélectrique utilisé (ses dimensions optimales et ses propriétés piézoélectriques, mécaniques et diélectriques), la façon dont l'énergie électrique récupérée est transformée pour alimenter la charge électrique visée (généralement un capteur autonome communicant), et également le dispositif mécanique par lequel le matériau piézoélectrique est fixé à la structure mécanique vibrante. Ce dispositif mécanique peut jouer un rôle d'amplification mécanique ou d'amplification de fréquence. Un absorbeur NES est une solution séduisante car il peut accroître le transfert d'énergie mécanique de la structure primaire vers le matériau piézoélectrique, c'est même sa mission principale dans une optique d'amortissement de vibration. Partant d'une structure mécanique primaire subissant des vibrations indésirables, l'objectif du stage est la conception et la mise en œuvre d'un dispositif permettant d'une part l'atténuation de ces vibrations à l'aide d'un NES puis la récupération de cette énergie vibratoire à travers la conversion, au moyen de patches piézoélectriques, de l'énergie mécanique reçue par le NES en énergie électrique utile.

Les différentes étapes du stage sont brièvement détaillées ci-dessous.

#### I. Conception et mise en œuvre d'un NES bistable

Les NES fonctionnent sur le principe du pompage énergétique (*energy pumping* ou *targeted energy transfer*), c'est-à-dire que l'énergie vibratoire est transférée de façon quasi irréversible du système primaire (SP) dont on souhaite atténuer les vibrations vers le NES où elle est ensuite habituellement simplement dissipée. Ces absorbeurs ont notamment l'avantage de s'adapter à la fréquence d'oscillation du système à protéger. Cependant, l'un des inconvénients est la nécessité d'un seuil minimal d'énergie pour que le transfert d'énergie se produise. Les NES dit bistables (BNES) permettent

de limiter cet inconvénient en permettant l'activation du pompage énergétique même pour de plus faibles niveaux vibratoires du SP [6].

En s'appuyant sur un modèle existant [7,8,9] l'objectif du stage sera dans un premier temps de concevoir un BNES pour l'atténuation, en réponse libre ou forcée, des vibrations d'un SP linéaire à définir. Dans les références citées plus haut le BNES est une poutre non linéaire en flambement avec une masselotte en son milieu (cf. Fig 1). Ce travail commencera par une phase d'appropriation du modèle SP + BNES puis par l'intégration temporelle numérique de ce dernier dans le but d'en appréhender les caractéristiques de son comportement dynamique. Cette première étape se terminera par la détermination des plages de paramètres du modèle permettant l'observation des régimes d'atténuation vibratoire souhaités. La deuxième partie du stage consistera à mettre en œuvre un dispositif expérimental permettant d'observer ces régimes d'atténuation et de valider le modèle.

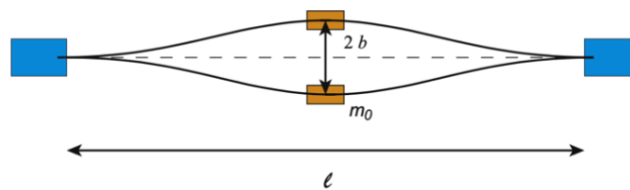


Figure 1. BNES formé d'une poutre non linéaire avec une masselotte en son milieu [8].

## II. Récupération de l'énergie vibratoire du BNES à l'aide d'un patch piézoélectrique

Des travaux récents [10,11,12] montrent que l'utilisation de patches piézoélectriques couplés à un NES permet de récupérer l'énergie vibratoire transférée à ce dernier en la convertissant en énergie électrique utile. Il s'agira donc ici de quantifier cet effet piézoélectrique en effectuant (i) des simulations numériques du modèle électromécanique constitué du SP et du BNES couplé à un patch piézoélectrique puis (ii) des mesures sur le dispositif réalisé dans la partie I et sur lequel des patches piézoélectriques seront installés.

L'objectif final étant la récupération d'énergie, l'étudiant ou l'étudiante retenu.e devra s'assurer lors de la phase de conception du BNES que la géométrie du dispositif soit compatible avec les dimensions des patches piézoélectriques commerciaux.

### Références bibliographiques

- [1] Vakatis A.F., Gendelman O.V., Bergman, L.A. McFarland, D.M. Kerschen G., Lee Y.S., Nonlinear Targeted Energy Transfer in Mechanical and Structural Systems. Solid Mechanics and its applications. Vol. 156, G.M.L. Gladwell Editor, Springer, <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-9130-8>.
- [2] Bergeot, B., Berger, S., & Bellizzi, S. (2017). Mode coupling instability mitigation in friction systems by means of nonlinear energy sinks: numerical highlighting and local stability analysis. Journal of Vibration and Control, 24(15), 3487–3511. <https://doi.org/10.1177/1077546317707101>
- [3] Bergeot, B., Bellizzi, S., & Cochelin, B. (2016). Analysis of steady-state response regimes of a helicopter ground resonance model including a non-linear energy sink attachment. International Journal of Non-Linear Mechanics, 78, 72–89. <https://doi.org/10.1016/j.ijnonlinmec.2015.10.006>
- [4] J. Ormondroyd, J.P. Den Hartog, Theory of the dynamic vibration absorber, Trans. ASME 50 (1928) 9–22
- [5] Chongfeng Wei, Xingjian Jing, A comprehensive review on vibration energy harvesting: Modelling and realization. Renewable and Sustainable Energy Reviews 74 (2017) 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.073>

- [6] Romeo, F., Manevitch, L. I., Bergman, L. A., & Vakakis, A. (2015). Transient and chaotic low-energy transfers in a system with bistable nonlinearity. *Chaos*, 25(5). <https://doi.org/10.1063/1.4921193>
- [7] Romeo, F., Manevitch, L. I., Bergman, L. A., & Vakakis, A. (2015). Transient and chaotic low-energy transfers in a system with bistable nonlinearity. *Chaos*, 25(5). <https://doi.org/10.1063/1.4921193>
- [8] Mattei, P. O., Ponçot, R., Pachebat, M., & Côte, R. (2016). Nonlinear targeted energy transfer of two coupled cantilever beams coupled to a bistable light attachment. *Journal of Sound and Vibration*, 373, 29–51. <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2016.03.008>
- [9] Zeng, Y. cheng, Ding, H., Du, R. H., & Chen, L. Q. (2022). Micro-amplitude vibration suppression of a bistable nonlinear energy sink constructed by a buckling beam. *Nonlinear Dynamics*, 108(4), 3185–3207. <https://doi.org/10.1007/s11071-022-07378-7>
- [10] Zhang, Y., Tang, L., & Liu, K. (2017). Piezoelectric energy harvesting with a nonlinear energy sink. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 28(3), 307–322. <https://doi.org/10.1177/1045389X16642301>
- [11] Xiong, L., Tang, L., Liu, K., & Mace, B. R. (2018). Broadband piezoelectric vibration energy harvesting using a nonlinear energy sink. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 51(18), 0–13. <https://doi.org/10.1088/1361-6463/aab9e3>
- [12] Zhao, J., Lyu, M., Wang, H., Kacem, N., Huang, Y., & Liu, P. (2020). Piezoelectric actuated nonlinear energy sink with tunable attenuation efficiency. *Journal of Applied Mechanics, Transactions ASME*, 87(2), 1–9. <https://doi.org/10.1115/1.4045108>
- 

**Lieu du stage :** Le stage s’effectuera sur le campus de Blois de l’INSA Centre Val de Loire au sein du LaMé (Laboratoire de Mécanique Gabriel Lamé - EA 7494 - <https://www.mechlabgabriellame.fr/>) et du GREMAN (laboratoire multidisciplinaire en matériaux, microélectronique, acoustique et nanotechnologies - UMR 7347 - <https://greman.univ-tours.fr/>).

**Rémunération :** environ 540 euros par mois.

**Durée :** 6 mois – de février à juillet 2023.

**Contacts :**

- Baptiste Bergeot : [baptiste.bergeot@insa-cvl.fr](mailto:baptiste.bergeot@insa-cvl.fr)
- Guylaine Poulin-Vittrant : [guylaine.poulin-vittrant@univ-tours.fr](mailto:guylaine.poulin-vittrant@univ-tours.fr)