

RECRUTEMENT D'UN DOCTORANT (F/H)

Titre de la thèse :

Développement d'un dispositif d'isolation vibratoire non-linéaire pour charges utiles embarquées sur plateformes aérospatiales

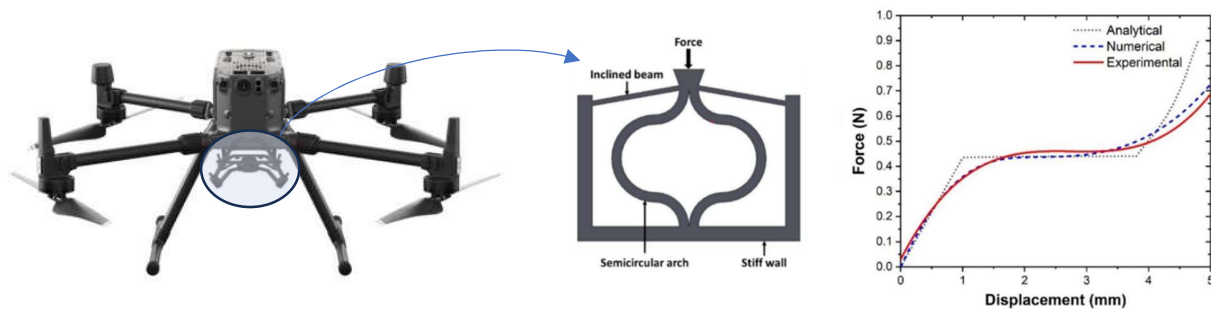
Champ scientifique, mots clés : Dynamique des structures, contrôle des vibrations

Date d'affectation souhaitée : Octobre 2025

Contexte et objectifs du projet

Avec l'essor des drones multicoptères (tel que celui illustré dans la photo ci-dessous) dans des applications civiles et industrielles – telles que la cartographie, la surveillance, la livraison, ou encore les inspections techniques – la stabilité et la précision des instruments embarqués deviennent des enjeux majeurs. Les vibrations engendrées par les moteurs, les hélices ou encore les mouvements dynamiques du drone affectent directement la qualité des mesures ou des images prises. Ces perturbations sont particulièrement problématiques pour des applications nécessitant une grande précision. L'un des défis techniques récurrents dans la conception de telles structures concerne ainsi la **transmission des vibrations** depuis la plateforme du drone vers sa **charge utile**. Dans ce contexte, l'objectif de ce projet de thèse est le développement d'une méthode originale de contrôle **des vibrations transmises par un vecteur de type drone multicoptère à sa charge utile**.

Une approche couramment utilisée pour limiter les vibrations transmises à la charge utile consiste à recourir à des isolateurs linéaires passifs. Ceux-ci sont efficaces pour atténuer les vibrations dont la fréquence excède $\sqrt{2}$ fois leur fréquence de coupure. Pour garantir une isolation vibratoire performante, il est donc nécessaire de concevoir des isolateurs à faible raideur, ce qui induit une déflexion statique importante sous le poids de la charge. Cette caractéristique pose problème dans de nombreuses applications, notamment celles nécessitant une grande stabilité. L'originalité du projet réside dans l'exploitation de **comportements non linéaires** afin de concevoir un isolateur présentant simultanément une **grande raideur statique** – pour limiter la déformation sous charge – et une **faible raideur dynamique** – pour assurer une isolation efficace des vibrations. Cette stratégie permet de concilier robustesse mécanique et performance dynamique, en dépassant les limitations inhérentes aux solutions linéaires classiques.



En pratique, les isolateurs non-linéaires sont habituellement mis en œuvre en associant une raideur linéaire et une raideur non-linéaire molissante qui peut être réalisée en utilisant des poutres flambées comme illustré ci-dessus. Bien que plus performants que leurs homologues linéaires, la plage de fonctionnement des isolateurs non-linéaires reste limitée. Un des axes de recherche de ce projet de recherche consistera à **optimiser la raideur de couplage non-linéaire** pour étendre la plage de fonctionnement de ces isolateurs, notamment lors des phases de vol instationnaires. L'amortissement joue également un rôle clé dans la performance de ces dispositifs. Un facteur de qualité élevé garantit une forte atténuation lorsque la fréquence d'excitation est suffisamment loin de la fréquence de coupure. Toutefois, pour ces facteurs de qualité élevés, l'amplification à la résonance peut causer des dommages à la charge utile lors de montées en régime des rotors. La prise en compte de **mécanismes de dissipation non-linéaires** constitue une piste de recherche prometteuse pour allier performances à haute fréquence tout en minimisant l'amplitude vibratoire aux faibles fréquences. Un autre axe de recherche concernera les méthodes de réalisation pratique de raideurs et de d'amortissement non-linéaires non-standards. Une piste prometteuse est l'utilisation de **matériaux architecturés**, couplé à des **méthodes d'optimisation topologiques**.

D'un point de vue méthodologique, une complémentarité entre développements théoriques et études expérimentales est attendue. Ainsi, ce projet de doctorat prévoit de mener le développement jusqu'à une **preuve de concept expérimentale** de l'isolateur proposé. Ce dernier sera **intégré sur un drone** au sein de l'École de l'air et de l'espace, puis **testé en conditions réelles** sur la base aérienne 701. Une **formation au pilotage de drone**, assurée par le Centre d'Initiation et de Formation des Équipages Drones (CIFED) de l'EAE, sera proposée au doctorant afin de lui permettre de participer activement aux essais en vol.

Références bibliographiques

- Xu, Y., Dong, H. W., & Wang, Y. S. (2024). Topology optimization of programable quasi-zero-stiffness metastructures for low-frequency vibration isolation. *International Journal of Mechanical Sciences*, 280, 109557.
- Dalela, S., Balaji, P. S., Leblouba, M., Trivedi, S., & Kalam, A. (2024). Nonlinear static and dynamic response of a metastructure exhibiting quasi-zero-stiffness characteristics for vibration control: an experimental validation. *Scientific Reports*, 14(1), 19195.
- Han, H., Sorokin, V., Tang, L., & Cao, D. (2022). Lightweight origami isolators with deployable mechanism and quasi-zero-stiffness property. *Aerospace Science and Technology*, 121, 107319.
- Dalela, S., Balaji, P. S., & Jena, D. P. (2022). A review on application of mechanical metamaterials for vibration control. *Mechanics of advanced materials and structures*, 29(22), 3237-3262.

Institutions d'accueil

Centre de Recherche de l'École de l'air et de l'espace (CRÉA). Le CRÉA est l'unité de recherche pluridisciplinaire de l'École de l'air et de l'espace à Salon-de-Provence. Il est en lien étroit avec la Base aérienne 701, ce qui lui offre la capacité rare d'accéder à des moyens aéronautiques comme des aéronefs ou des zones de vol. Le CREA est composée d'une trentaine d'enseignants chercheurs répartis dans de nombreuses disciplines en sciences de l'ingénieur et sciences humaines et sociales. Ses membres conduisent des recherches académiques ayant un objet commun : les déterminants de l'évolution de l'emploi militaire des systèmes aéronautiques et spatiaux.

L'encadrement au CRÉA sera effectué par Benjamin Chouvion et Gaël Chevallier.

Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (LMA) à Marseille. Le LMA est une unité mixte de recherche AMU-CNRS-Centrale Méditerranée, UMR 7031. Ses principaux domaines de compétences sont la mécanique du solide (structures, matériaux, interfaces) et l'acoustique (propagation des ondes dans des milieux fluides et solides complexes). Le LMA dispose d'une expertise reconnue internationalement sur les absorbeurs dynamiques non-linéaires en acoustique et en dynamique des structures. Il dispose également des moyens expérimentaux conséquents qui pourront être utilisés pour mener à bien ce projet.

L'encadrement au LMA sera effectué par Stéphane Bourgeois, Renaud Côte et Etienne Gourc

Profil du candidat recherché

Ce doctorat, qui combine modélisation, simulation numérique et caractérisation expérimentale d'un dispositif de contrôle vibratoire, s'adresse à des titulaires d'un diplôme d'ingénieur ou d'un master en mécanique, aérospatial, ou dans un domaine connexe.

Des compétences – ou a minima un fort intérêt – en dynamique des structures, contrôle, simulation numérique et mesures expérimentales sont particulièrement recherchées.

Dépôt des candidatures

Toutes demandes d'informations complémentaires peuvent être demandées par mail auprès de :

- Responsable EAE : Benjamin Chouvion : benjamin.chouvion@ecole-air.fr
- Responsable Centrale/LMA : Stéphane Bourgeois : stephane.bourgeois@centrale-marseille.fr

Les pièces listées ci-dessous devront être transmises aux deux responsables ci-dessus :

- Un CV
- Une lettre de motivation
- Votre dernier relevé de notes de master ou d'école d'ingénieur