**Enriched continuum modelling of band-gap metamaterials:**

**mechanical characterization and reflection/transmission properties of interfaces**

**Abstract:** This manuscript aims to deal with metamaterials that can inhibit wave propagation in particular frequency ranges which are known as “frequency band-gaps”. The conception of a new band-gap metamaterial is presented, from the definition of the functional specifications of the unit cell to the manufacturing process of our proof of concept and its experimental characterization. We will show that the comprehension of local resonance mechanisms, combined with the optimization of the geometry and the choice of an adequate manufacturing process allows to considerably improve the theoretical performances of the unit cell. Given the multiple constraints imposed to our experimental set-up, in terms, e.g., of modelling, computing time, manufacturing and measurements, a special attention was paid to both the excitation process and the acquisition of the experimental results, which will therefore also be presented in detail. Chapter 3 of this manuscript presents, in addition to the classical Cauchy continuum, the relaxed micromorphic model which will be in charge of leading the required simplification to proceed towards the design of large-scale metastructures in Chapter 4, which also presents the comparison between the theoretical models and the experiment, thus providing a solid validation of our model to be used as a basis for metastructural design. The “relaxed micromorphic” model allows to describe the behavior of metastructures (here, band-gap metamaterials) in the simplified framework of continuum mechanics with the introduction of only few homogenized parameters additionally to the classical Young modulus and Poisson ratio. The constitutive macroscopic parameters of our model have been identified on the newly designed unit cell by a first determination of the elastic parameters of the relaxed micromorphic model by inverse approach (the classical simulation being based on the Bloch-Floquet analysis of our periodic structures), this opens the way to the efficient design and realization of engineering metastructures, an example of which will be given at the end of the manuscript. We will also show that, under certain assumptions, the mechanical behavior of band-gap metastructures can be perfectly reproduced by our relaxed micromorphic model over a wide frequency band and with considerable time savings.

**Keywords:** Mechanical metamaterials, micromorphic models, Band gaps, meta-structures.

**Milieux continus généralisés pour la modélisation des métamatériaux à band-gap:**

**caractérisation mécanique et propriétés de réflection/transmission des interfaces**

**Résumé :** Ce manuscrit traite des métamatériaux pouvant empêcher la propagation des ondes élastiques dans des gammes de fréquences particulières appelées « bandes interdites ». La conception d’un nouveau métamatériau à bande interdite est présentée, de la définition des spécifications fonctionnelles de la cellule de base jusqu’au processus de fabrication de notre preuve de concept et sa caractérisation expérimentale. Il est montré que la compréhension des mécanismes de résonance locale, combinée à l’optimisation de la géométrie et au choix d’un procédé de fabrication adéquat permet d’améliorer considérablement les performances théoriques de la cellule. Compte tenu des multiples contraintes imposées à notre dispositif expérimental, en termes, par exemple, de modélisation, de temps de calcul et de fabrication et de mesures, une attention particulière a

été portée à la fois au processus d’excitation et à l’acquisition des résultats expérimentaux, qui seront donc également présenté en détail. Le chapitre 3 de ce manuscrit présente dans le formalisme variationnel, en plus du milieu de Cauchy, le modèle micromorphique relaxé qui sera chargé de conduire la simplification nécessaire pour avancer vers la conception de métastructures à grande échelle dans le chapitre 4, qui présente également la comparaison entre le modèles théoriques et l’expérience, fournissant ainsi une validation de notre modèle. Le modèle micromorphique relaxé permet de décrire le comportement des métastructures (ici, les métamatériaux à bande interdite) dans le cadre simplifié de la mécanique des milieux continus avec l’introduction de seulement quelques paramètres homogénéisés en plus du module de Young et du coefficient de Poisson. Les paramètres macroscopiques constitutifs de notre modèle ont été identifiés sur la maille unitaire nouvellement conçue par une première détermination des paramètres élastiques du modèle micromorphe relaxé par approche inverse (la simulation classique étant basée sur l’analyse de Bloch-Floquet de nos structures périodiques), ouvrant la voie à la conception et à la réal-

isation de métastructures complexes, dont un exemple sera donné à la fin du manuscrit. Nous montrerons également que, sous certaines hypothèses, le comportement mécanique des métastructures à bande interdite peut être parfaitement reproduit par notre modèle micromorphique relaxé sur une large bande de fréquence et ce avec un gain de temps considérable.

**Mots clés :** métamatériaux mécaniques, modèle micromorphique, band gap, métastructures.