



Design par IA d'architectures optimales pour métamatériaux ultra-légers et résistants à la rupture et déformation

Spécialité PHYSIQUE

Niveau d'étude Bac+5

Formation Master 2

Unité d'accueil [SPEC/SPHYNX](#)

Candidature avant le 30/04/2021

Durée 4 mois

Poursuite possible en thèse oui

Contact [BONAMY Daniel](#)

+33 1 69 08 21 14

daniel.bonamy@cea.fr

Résumé

Le stage s'inscrit dans un projet de recherche visant à développer une nouvelle classe de méta-matériaux poreux, d'architecture aléatoire et inspirée de la structure osseuse pour combiner légèreté et résistance à la rupture.

Sujet détaillé

La recherche de matériaux combinant légèreté et résistance mécanique est un domaine en plein essor, tiré, dans le domaine du transport notamment par la volonté de réduire les émissions de CO₂ et de développer des véhicules économes en carburant. Des progrès importants ont été accomplis récemment ; les méta-matériaux ou matériaux architecturés offrent dans ce contexte un potentiel considérable (e.g micro-lattice inventé au Caltech, produit par Boeing).

Les voies explorées actuellement portent sur des architectures périodiques, inspirées des cristaux. Le critère de Maxwell permet alors, à partir du nombre d'entretoises et de joints présents dans une maille élémentaire, de prévoir si la structure se déformera du fait de l'étirement, ou de la flexion de ses entretoises, et par suite d'estimer la rigidité du métamatériau et sa variation avec la densité du matériau. En revanche, les matériaux architecturés observés dans la nature (os, structure alvéolaire des écorces...) présentent des architectures aléatoires optimisées pour répondre à une certaine sollicitation du milieu ou remplir une fonction précise.

L'idée proposée ici vise à utiliser les outils de l'intelligence artificielle (IA) et de l'optimisation topologique pour renforcer les architectures sans présupposer celles-ci. Le stage est principalement numérique et théorique. Nous partirons d'un modèle de poutres récemment développé dans le laboratoire. L'objectif final est le développement d'un algorithme permettant de définir des architectures optimales en termes de rigidité mécanique et résistance à la fissuration, sous contrainte de conditions de densité et d'isotropie mécanique, avec l'aide d'outils à définir : fonction de coût et poids associés, descente de gradient pour la minimisation, réseau de neurones etc. Une composante expérimentale pourra être incluse, avec la fabrication additive des métamatériaux obtenus numériquement et leur caractérisation mécanique sur les bancs expérimentaux développés dans notre laboratoire.

Mots clés

IA, physique statistique, mécanique du solide

Compétences

Apprentissage automatique, simulation numérique, modèle de poutres

Logiciels

Python

Design by AI of optimal architectures for ultralight metamaterials resistant to fracture and deformation

Summary

The internship is part of a research project aiming at developing a new class of porous meta-materials with a random architecture inspired by that of bones, to achieve high performance in terms of both lightness and resistance to fracture.

Full description

The quest toward high-performance materials combining lightness and mechanical strength gave rise to a flurry of activity: desire to reduce CO2 emissions and develop fuel-efficient vehicles in the transport industries for instance. In this context, meta-materials or architected materials offer considerable potential (e.g. micro-lattice invented at Caltech and produced by Boeing) and significant progresses have been achieved recently.

The routes explored so far have mainly focused on periodic architectures, inspired from crystals. Maxwell's criterion makes it possible, from the number of struts and joints present in a basic cell, to predict whether the structure deformation will be stretching- or bending-dominated, and consequently to estimate overall metamaterial stiffness and its variation with material density. Conversely, the architecture materials observed in nature (bone, cellular structure in bark...) present random architectures optimized to respond to a certain stress of the environment or fulfill a specific function.

The idea proposed here is to use the tools of artificial intelligence (AI) and topological optimization to strengthen architectures without presupposing them. The internship is mainly numerical and theoretical. We will start from a beam model recently developed in the lab. The final objective is the development of an algorithm to define optimal architectures in terms of mechanical stiffness and cracking resistance, under constraints of density conditions and mechanical isotropy, with the help of tools to be defined: cost function and associated weights, gradient descent for minimization, neural network etc. An experimental component may be included, with the 3D-printing of the metamaterials designed numerically and their mechanical characterization on the experimental setups developed in our lab.

Keywords

AI, statistical physics, solid mechanics

Skills

Machine learning, numerical simulation, beam model

Softwares

Python