

Proposition de projet de mastère spécialisé

Design des Matériaux et des Structures

Année 2018-2019

Société partenaire : Safran Tech

Lieu de réalisation de l'étude : Centre des Matériaux et Safran Tech

Encadrement

Julie Quérois et Clara Moriconi (Safran Tech), Djamel Missoum et Samuel Forest (Centre des Matériaux -Mines ParisTech)

Titre

Étude du comportement multi-physique de structures lattices en fabrication additive par procédé SLM

Mots-clés

Fabrication additive, structures lattices, comportement multiphysique

Contexte de l'étude

Les procédés de fabrication additive permettent de fabriquer des structures complexes, parmi lesquelles les structures en treillis, dites structures lattices, à l'instar des emblématiques matériaux architecturés voire même des matériaux fractaux [Meza et al. 2015, Oftadeh et al. 2014]. Ces matériaux ont déjà prouvé leur intérêt dans les problématiques d'absorption de chocs [Zhao & Gary 1998], mais également de propagation/atténuation d'ondes acoustiques [Shan et al. 2014] ou optiques [Shalaev 2007], ou encore pour la récupération ou le stockage d'énergie [Ramahi et al. 2012]. Les matériaux architecturés peuvent également servir de support lors de la fabrication de pièces par les méthodes de fabrication additive, faisant alors émerger des besoins de modélisation de leurs propriétés élastiques et à rupture pour s'assurer du bon détachement de ces supports sans impact sur la pièce. Ces structures sont susceptibles d'apporter une valeur ajoutée considérable dans de multiples applications chez Safran : amortisseur de vibrations et de chocs, filtre, échangeur thermique, pilotage de la rigidité d'une structure, etc. Pour que les bureaux d'études puissent concevoir des pièces intégrant des lattices, il est nécessaire d'identifier les structures lattices optimales selon l'application visée. Le Centre des Matériaux possède une expérience forte dans le domaine de l'homogénéisation périodique des structures architecturées [Besson et al. 2009] [Dirrenberger et al., 2013] et s'est tourné récemment vers les problèmes d'optimisation associés [Wang et al., 2017]

Objectif et travail proposé

L'étude proposée vise à déterminer les types de maille lattices à utiliser selon l'objectif de conception, ainsi que leurs propriétés mécaniques et thermiques équivalentes. Le guide de choix des mailles lattices tiendra compte des contraintes de fabrication des procédés de fusion laser sur lit de poudre, qui seront définies en collaboration avec les équipes Safran. L'étude se focalisera sur l'identification de structures lattices appropriées pour les cas suivants : échangeurs thermiques, absorption de chocs, supports de fabrication, allègements de pièces et amortisseurs d'ondes acoustiques. L'étude pourra s'appuyer sur des simulations éléments

finis et de l'optimisation de forme (topologique, paramétrique...). On déterminera les propriétés élastoplastiques équivalentes des lattices sélectionnées (chargement mécanique), les propriétés thermiques équivalentes (conduction dans le solide), les propriétés thermo-mécaniques équivalentes pour les supports. L'étude suivra les points suivants :

- Revue de la bibliographique afin de sélectionner les mailles d'intérêt déjà étudiées. Les classer selon différents critères : fabricabilité, modularité, performances mécaniques/thermiques, masse, nombre de facettes (conception), facilité de conception...
- Recherche de concept, optimisation et sélection des mailles lattices intéressantes pour les différentes applications cibles, en tenant compte du potentiel et des limites des procédés de fabrication additive, grâce notamment aux outils d'optimisation topologique et/ou à travers des plans d'expériences numériques
- Mise en place d'une méthodologie de calcul des propriétés équivalentes sous chargement mécanique et thermique. Mise en place de la base de calculs sur les mailles lattices retenues
- Rédaction d'un guide de choix des mailles lattices selon application, associé à un catalogue de leurs propriétés équivalentes et à une formalisation de la méthodologie permettant de déterminer leurs propriétés équivalentes
- En fonction de l'avancement de l'étude, un axe de travail pourra concerner les modes de ruines et instabilités de ces structure

Profil demandé

Profil mécanique des structures avec un goût prononcé pour l'analyse, de bonnes connaissances en optimisation et une sensibilité pour les procédés de mise en forme. Une connaissance des procédés de fabrication additive est un plus.

Références

- [1] [Besson et al., 2009] J. Besson, G. Cailletaud, J.-L. Chaboche, S. Forest, *Mécanique Non Linéaire des Matériaux*, Springer, 2009
- [2] [Dirrenberger et al., 2013] J. Dirrenberger, S. Forest, D. Jeulin, *Effective elastic properties of auxetic microstructures: anisotropy and structural applications*, *International Journal of Mechanics and Materials in Design*, vol. 9, pp. 21-33, 2013. [doi:10.1007/s10999-012-9192-8](https://doi.org/10.1007/s10999-012-9192-8)
- [3] [Meza et al. 2015] Meza, L. R., Zelhofer, A. J., Clarke, N., Mateos, A. J., Kochmann, D. M., & Greer, J. R. (2015). Resilient 3D hierarchical architected metamaterials. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(37), 11502-11507
- [4] [Oftadeh et al. 2014] Oftadeh, R., Haghpanah, B., Vella, D., Boudaoud, A., & Vaziri, A. (2014). Optimal Fractal-Like Hierarchical Honeycombs. *Physical review letters*, 113(10), 104301
- [5] [Shan et al. 2014] Shan, S., Kang, S. H., Wang, P., Qu, C., Shian, S., Chen, E. R., & Bertoldi, K. (2014). Harnessing multiple folding mechanisms in soft periodic structures for tunable control of elastic waves. *Advanced Functional Materials*, 24(31), 4935-4942
- [6] [Shalaev 2007] Shalaev, V. M. (2007). Optical negative-index metamaterials. *Nature photonics*, 1(1), 41-48
- [7] [Ramahi et al. 2012] Ramahi, O. M., Almoneef, T. S., AlShareef, M., & Boybay, M. S. (2012). Metamaterial particles for electromagnetic energy harvesting.

Applied Physics Letters, 101(17), 173903

- [8] [Wang et al., 2017] Z.P. Wang, L. H. Poh, J. Dirrenberger, Y. Zhu and S. Forest, *Isogeometric shape optimization of smoothed petal auxetic structures via computational periodic homogenization*, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, vol. 323, pp. 250-271, 2017. [doi:10.1016/j.cma.2017.05.013](https://doi.org/10.1016/j.cma.2017.05.013).