



## Sujet de Stage M2 2023-2024

### Génération d'arrangements spatiaux pour l'allègement de matériaux par enlèvement de matière

**Accueil :** équipes IGG (Informatique Géométrique et Graphique) et GC-E (Génie Civil et Énergétique) du laboratoire ICube (Laboratoire des sciences de l'ingénieur, de l'informatique et de l'imagerie), Université de Strasbourg

**Encadrement :** Rémi Allègre ([remi.allegre@unistra.fr](mailto:remi.allegre@unistra.fr)), Vincent Le Houérou ([v.lehouerou@unistra.fr](mailto:v.lehouerou@unistra.fr)), Jean-Michel Dischler ([dischler@unistra.fr](mailto:dischler@unistra.fr))

**Début du stage :** à partir de février 2024

**Fin du stage :** 6 mois à partir de la date de début du stage

**Montant de la gratification :** environ 570 euros nets par mois

**Prérequis :** Informatique géométrique et graphique



**Fig. 1 :** À gauche : trois arrangements spatiaux de disques aux propriétés différentes (deux arrangements « réguliers » et un arrangement « irrégulier »). Au centre et à droite : test mécanique de flexion 3 points sur une plaque de bois MDF allégée par des trous circulaires.

### Contexte

L'informatique graphique a développé de nombreux algorithmes de génération d'arrangements spatiaux de motifs, en particulier pour la création de matériaux virtuels destinés à habiller des scènes en trois dimensions pour la synthèse d'images [GAD+20, BAD23]. Ces algorithmes trouvent de plus en plus d'applications en fabrication assistée par ordinateur, notamment pour la fabrication de métamatériaux mécaniques [MSS+19, LHH+22].

Ce stage s'inscrit dans le cadre d'un projet regroupant des chercheurs de l'équipe GC-E et de l'équipe IGG du laboratoire ICube, dont le but est de répondre à une problématique d'allègement de matériaux rigides pour l'ingénierie et la construction, ayant des enjeux économiques et environnementaux. Étant donné un panneau plein soumis à un enlèvement de matière selon un arrangement spatial de motifs, l'objectif est de trouver des arrangements spatiaux permettant d'obtenir une rigidité fonctionnelle proche de la rigidité initiale.

Si des études ont été réalisées pour rendre flexibles des matériaux rigides [CTJ+20], la limitation des pertes de propriétés de rigidité lors d'un allègement par enlèvement de matière reste encore largement à explorer. Les travaux en optimisation topologique, qui s'intéressent à la distribution optimale de la matière au sein d'un matériau soumis à des forces, ne considèrent pas la notion d'arrangement spatial de motifs [MDL+15], ou seulement à l'échelle de la microstructure [WSG21].

## Objectif

L'objectif de ce stage est d'étudier des critères géométriques et statistiques pour caractériser les arrangements spatiaux de motifs par rapport aux propriétés mécaniques souhaitées, et d'identifier les arrangements les plus pertinents au regard de ces propriétés. Le travail se déroulera selon les étapes suivantes :

1. Revue critique de la littérature sur les arrangements spatiaux en lien avec les phénomènes connus en mécanique des matériaux.
2. Implémentation de plusieurs algorithmes de génération d'arrangement spatiaux de motifs et de critères géométriques et statistiques simples du type : distance au plus proche voisin, fonction de distribution radiale, fonction de Ripley, autocorrélation.
3. Sur la base de la méthode proposée dans [MDL+15] et du code disponible, ajout de la possibilité d'effectuer une optimisation topologique contrainte par un arrangement spatial de motifs pour déterminer les meilleurs arrangements et leurs paramètres.

La-le stagiaire sera hébergé-e par l'équipe IGG et aura accès aux moyens de calcul dont l'équipe dispose. Selon l'avancement du travail, un accès aux dispositifs expérimentaux de l'équipe GC-E sera également possible pour effectuer des essais mécaniques.

## Références bibliographiques

- [BAD23] G. Baldi, R. Allègre, J.-M. Dischler. [Differentiable Point Process Texture Basis Functions for inverse procedural modeling of cellular stochastic structures](https://doi.org/10.1016/j.cag.2023.04.004), Computers & Graphics, V. 112, P. 116-131, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2023.04.004>
- [CTJ+20] R. Chen, C. Turman, M. Jiang, et al. [Mechanics of kerf patterns for creating freeform structures](https://doi.org/10.1007/s00707-020-02713-8). Acta Mech, 231, 3499–3524, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00707-020-02713-8>
- [GAD+20] P. Guehl, R. Allègre, J.-M. Dischler, B. Benes, and E. Galin. [Semi-Procedural Textures Using Point Process Texture Basis Functions](https://doi.org/10.1111/cgf.14061). Computer Graphics Forum, 39(4):159–71, 2020. <https://doi.org/10.1111/cgf.14061>
- [LHH+22] C. Lu, M. Hsieh, Z. Huang, C. Zhang, Y. Lin, Q. Shen, F. Chen, L. Zhang. [Architectural Design and Additive Manufacturing of Mechanical Metamaterials: A Review](https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.12.023). Engineering, Volume 17, Pages 44-63, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.12.023>
- [MDL+15] J. Martínez, J. Dumas, S. Lefebvre, and L.-Yi. Wei. [Structure and appearance optimization for controllable shape design](https://doi.org/10.1145/2816795.2818101). ACM Trans. Graph. 34, 6, Article 229, 11 pages, 2015. <https://doi.org/10.1145/2816795.2818101>
- [MSS+19] J. Martínez, M. Skouras, C. Schumacher, S. Hornus, S. Lefebvre, and B. Thomaszewski. [Star-shaped metrics for mechanical metamaterial design](https://doi.org/10.1145/3306346.3322989). ACM Trans. Graph. 38, 4, Article 82, 13 pages, 2019. <https://doi.org/10.1145/3306346.3322989>
- [WSG21] J. Wu, O. Sigmund, J.P. Groen. [Topology optimization of multi-scale structures: a review](https://doi.org/10.1007/s00158-021-02881-8). Struct Multidisc Optim 63, 1455–1480, 2021. <https://doi.org/10.1007/s00158-021-02881-8>