

Caractérisation des propriétés morphologiques de milieux fibreux par traitement d'images issues de tomographies à rayons-X

- Laboratoire, institution : Laboratoire Modélisation et Simulation Multi Echelle (MSME UMR 8208 CNRS), Université Gustave Eiffel

- Equipe ou projet dans le laboratoire : Ce sujet de tremplin recherche ESIEE Paris s'insère dans un contrat de collaboration de recherche et d'encadrement post-doctoral de Quang Vu TRAN pourant sur les « Propriétés multi-physiques de milieux fibreux polydisperses (acoustique, élastique) : des mécanismes aux preuves de concept » entre l'Université Gustave Eiffel (site de Marne-la-Vallée), l'Université de Sherbrooke (Québec, Canada), et la société Adler Pelzer Group (équipementier automobile fournisseur s'isolants acoustique) (juillet 2024 – avril 2026) [Ref. 2024-0043] co-encadré par Camille Perrot (MSME, Equipe Meca, Université Gustave Eiffel) et Raymond Panneton (CRASH-UdeS, EMA, Université de Sherbrooke).

- Partenaire international si poursuite envisagée en stage à l'étranger (mai-août) : Université de Sherbrooke, Département de Génie Mécanique, Centre de recherche en acoustique-signal-humain de l'Université de Sherbrooke. Sous réserve de se conformer préalablement aux démarches administratives et financières liées à l'obtention d'un permis d'études au Canada.

- Nom et adresse e-mail du tuteur : Camille Perrot, camille.perrot@univ-eiffel.fr

- Filière(s) visée(s) : Informatique (principalement) ; Datascience et intelligence artificielle, Génie industriel, Énergie (de manière secondaire).

- Présentation générale du sujet (environ 5 à 10 lignes)

La crise environnementale et énergétique impose aux acteurs industriels et à ceux du transport une réduction de la masse des véhicules et l'usage de matériaux recyclés et recyclables. Cependant, cette tendance à l'allègement et à l'usage de matériaux recyclés et recyclables s'oppose au contrôle des nuisances sonores. L'allègement suppose une réduction de masse des matériaux utilisés pour contrôler le champ réverbéré ou transmis des ondes acoustiques (sous contraintes de place accrue). Or, l'usage de matériaux recyclés et recyclables introduit une plus grande variabilité dans les matières, ce qui a pour effet d'accroître le caractère inhomogène et anisotrope des matériaux manufacturés. Pour pallier à cette double contrainte d'allègement et d'hétérogénéité locale, le développement d'une compréhension fine des mécanismes physiques gouvernant les propriétés physiques d'intérêt est particulièrement nécessaire (propriétés élasto-acoustiques et thermiques).

- Objectif du projet (environ 10 à 20 lignes)

Pour répondre à la problématique scientifique, technique et industrielle, soulevée par le contexte de la décarbonation de l'industrie du transport, on cherchera à identifier les principales caractéristiques microstructurales gouvernant les phénomènes physiques d'intérêt à l'échelle supérieure (acoustique, mécanique, thermique). La question de départ peut alors être formulée de la manière suivante : Quels sont les volumes élémentaires représentatifs (VERs) associés aux propriétés physiques d'intérêt pour un milieu fibreux polydisperse, localement hétérogène et anisotrope ?

L'hypothèse formulée dans cette proposition de recherche est qu'il soit possible (1) d'identifier les longueurs caractéristiques locales et mécanismes prépondérants gouvernant les propriétés a) d'ondes élasto-acoustiques b) de transferts thermiques et c) de tenue mécanique de matériaux fibreux polydisperses, aléatoires et localement hétérogènes par un dialogue continu entre

simulations multi-échelles, expérimentations fines, processus de fabrication ; (2) pour mieux les contrôler (optimisation) ; (3) et *in fine* fabriquer les prototypes de non-tissés les plus prometteurs sous contraintes manufacturières.

L'objectif principal de ce tremplin recherche est de contribuer à la caractérisation des propriétés morphologiques du réseau fibreux en utilisant des méthodes de traitement d'images, les images ayant été préalablement acquises par microtomographie axiale à rayons-X. On pourra en particulier s'intéresser aux caractéristiques morphologiques suivantes du réseau de fibres : (i) liaisons (caractérisation des liaisons et en particulier des aires de contact); (ii) densité de connections (nombre de liaisons par unité de volume); (iii) distributions de longueurs et diamètres (réseau de poutres); (iv) distribution des orientations angulaires; (v) rayons de courbures, forme des sections.

- Bibliographie

Hellen Altendorf and Dominique Jeulin, Random-walk-based stochastic modeling of three-dimensional fiber systems, *Physical Review E* 83, 041804 (2011).

H. Altendorf and D. Jeulin. 3D directional mathematical morphology for analysis of fiber orientation, *Image Analysis and Stereology* 28, 143-153 (2009).

Lucie Chapelle, Characterization and modelling of the mechanical properties of mineral wool, PhD thesis, Technical university of Denmark, 2016.

L. Chapelle, P. Brøndsted, Y. Kusano, M. R. Foldschack, Microstructural characterization of stone wool fibre network, 16th European conference on composite materials, Seville, Spain, 22-26 June 2014.

M. Krause, J. M. Hausherr, B. Burgeth, C. Hermann and W. Krenkel. Determination of the fibre orientation in composites using the structure tensor and local X-ray transform, *Journal of Material Science* 45, 888-896 (2010).

J. Viguié, P. Latil, L. Orgéas, P. J. J. Dumont, S. Rolland du Roscoat, J.-F. Bloch, C. Marulier and O. Guiraud, Finding fibres and their contacts within 3D images of disordered fibrous media, *Composites Science and Technology* 89, 202-210 (2013).

R. Moreno, M. Borga and O. Smedby. Estimation of trabecular thickness in gray-scale through granulometric analysis. In *Conference on Medical Imaging – Image processing*, 8314 (2012).

D. Legland, I. Arganda-Carreras, P. Andrey, MorphoLibJ: Integrated library and plugins for mathematical morphology with ImageJ, *Bioinformatics* 32, 3532–3534 (2016).

Q. V. Tran, C. Perrot, R. Panneton, M. T. Hoang, L. Dejaeger, V. Marcel, M. Jouve, Effect of polydispersity on the transport and sound absorbing properties of three-dimensional random fibrous structures, *International journal of solids and structures* 296, 112840 (2024).