

Approche conjointe acoustique et thermique pour l'optimisation des laines végétales du bâtiment.

Structure ou laboratoire d'accueil où sera localisé le doctorant

Nom et coordonnées : Cerema DTer Est - Laboratoire de Strasbourg, rue Jean Mentelin, Strasbourg

École doctorale et établissement d'enseignement supérieur

- Ecole doctorale : MEGA (ED162) - Mécanique, Énergétique, Génie Civil et Acoustique

- Etablissement de formation de rattachement : École Nationale des Travaux Publics de l'Etat

Encadrement

Directeur :

Emmanuel GOURDON, ENTPE, emmanuel.gourdon@entpe.fr, 04 72 04 77 46.

Co-encadrants :

Philippe GLÉ, Cerema Est - Labo Strasbourg, philippe.gle@cerema.fr, 03 88 77 46 28.

Etienne GOURLAY, Cerema Est - Labo Strasbourg, etienne.gourlay@cerema.fr, 03 88 77 79 16.

Résumé du projet de thèse

Contexte et objectifs :

L'intérêt du **recours aux matériaux biosourcés** tels que les laines végétales pour le renforcement de l'isolation thermique des bâtiments n'est plus à démontrer, que ce soit du point de vue environnemental ou performantiel¹. Constituant une **part croissante du marché** des matériaux d'isolation, à ce jour de l'ordre de 8 % en France², les laines végétales font d'ailleurs partie des 18 **filières vertes** reconnues par notre ministère comme ayant un potentiel de développement économique élevé pour l'avenir. Ce développement pourrait être largement favorisé en améliorant la **connaissance encore limitée** des mécanismes de dissipation au sein de ces matériaux.

Il s'agit bien sûr de leurs **performances thermiques**, qui constituent dans le contexte actuel (RT 2012 et 2020, volet "Rénovation" de la Transition Énergétique pour la Croissance Verte) l'enjeu essentiel de l'isolant, mais cela concerne également leurs **performances acoustiques**, tout aussi importantes afin de limiter les nuisances sonores ressenties par une proportion croissante de la population exposée aux bruits des infrastructures et/ou du voisinage (86 % de personnes s'estiment gênées par le bruit à leur domicile d'après un sondage IFOP réalisé en 2014).

De même que pour les matériaux de construction de façon générale, le problème majeur est qu'isolations thermique et acoustique ne sont **pas fondées sur les mêmes mécanismes physiques**, qui reposent respectivement sur des principes de forte porosité et de masse. En cela ils peuvent parfois être **antagonistes**³. Ces différents mécanismes peuvent toutefois être reliés aux caractéristiques microscopiques des laines (dimensions, porosité, orientation et densité des fibres), ce qui donne la possibilité de construire une **modélisation conjointe dite micro-macro**. Cette modélisation s'appuie sur ces caractéristiques à l'échelle microscopique pour évaluer les propriétés macroscopiques recherchées (absorption et affaiblissement acoustique, conductivité thermique).

La mise en œuvre de cette approche peut s'inspirer de nombreux modèles existants dans la littérature^{4,5}, basés sur les lois de mécanique des fluides et de thermodynamique, mais limités au cas de fibres conventionnels homogènes. Pour les laines végétales, il est nécessaire d'intégrer à ces modèles l'**effet de la distribution hétérogène de taille des fibres**, dû à la forte variabilité naturelle de ces matières premières, ainsi que l'**effet de la porosité intra-fibre**⁶.

Par ailleurs, le **traitement au feu** des laines végétales, souvent indispensable, vient complexifier ces problématiques acoustiques et thermiques en enrobant les fibres ou en imperméabilisant la surface des échantillons, selon le procédé retenu, ce qui doit être pris en compte dans la modélisation.

Dans ce contexte, cette thèse permettra, en développant une approche conjointe acoustique/thermique, de **répondre à l'aide d'un même outil aux problématiques** fondamentales

liées à l'utilisation des laines végétales, afin d'en permettre un plus large développement.

Verrous scientifiques (problèmes scientifiques que le doctorant devra résoudre) :

- Les phénomènes de dissipation acoustique et d'isolation thermique^{7, 8} reposent sur des mécanismes complètement différents en apparence, et systématiquement étudiés de façon découplée. Ils sont néanmoins liés à la microstructure des matériaux fibreux⁹. Des relations micro-macro pourraient en conséquence être mises en évidence entre les caractéristiques des fibres et ces deux propriétés fonctionnelles¹⁰.

- La nature végétale des fibres entraîne une hétérogénéité en termes de dimensions ainsi qu'une porosité à l'intérieur des fibres⁶, qui ne sont pas rencontrées dans le cas des fibres synthétiques conventionnelles, et qui induisent des comportements atypiques qu'il est nécessaire de maîtriser.

- L'ignifugation entraîne une modification des caractéristiques microscopiques des fibres, qui doit être évaluée et intégrée à la modélisation.

Déroulement de la thèse :

Problématique

Peut-on modéliser par une approche conjointe micro-macro les comportements acoustique et thermique des laines végétales afin d'optimiser leurs performances pour le bâtiment, en intégrant les effets relatifs à l'ignifugation ?

Démarche de travail, méthode

Le travail portera principalement sur les laines de chanvre et de lin. Dans un premier temps, les propriétés acoustiques et thermiques de ces laines végétales seront abordées de façon séparée pour permettre au doctorant de s'approprier les concepts en jeu (modèles, échelles d'observation). Le travail consistera ensuite à explorer les zones d'intersection des deux disciplines (dissipation par effets thermiques en acoustique¹¹, effet de la porosité en thermique¹²) afin de faire émerger des relations entre les paramètres utilisés en acoustique (porosité, résistivité, tortuosité, longueurs caractéristiques des pores) et ceux utilisés en thermique (conductivité thermique en particulier). Les paramètres en question seront alors reliés aux caractéristiques microscopiques en se basant sur des techniques d'homogénéisation^{4, 5, 9} tenant compte de la variabilité des fibres (lois de distribution intégrées sur des volumes représentatifs). Une approche expérimentale permettra d'orienter cette recherche et de valider les relations établies le cas échéant, mais aussi de caractériser et intégrer l'effet de l'ignifugation. Le doctorant pourra s'appuyer à cette fin sur des dispositifs expérimentaux présents au laboratoire de Strasbourg (Tubes de Kundt, Hot Disk, porosimètre, résistivimètre, tortuosimètre). La continuité de l'approche sera alors concrétisée en "emboîtant" les différentes relations mises en évidence : des caractéristiques microscopiques aux paramètres, et de ces paramètres aux propriétés macroscopiques.

Références bibliographiques

- 1- Kymäläinen et al. *Flax and hemp fibres as raw materials for thermal insulations*. Build. and Env., 43 (7), 2008.
- 2- Gosselin. *Les isolants végétaux et la rénovation*. Colloque C&B., Sens, 2014.
- 3- Chéné. *La problématique acoustique/thermique dans le bâtiment*. Colloque CIDB/CINOV Glac, Paris, 2013.
- 4- Allard et al. *Propagation of sound in porous media*. Wiley, 2009.
- 5- Perrot et al. *Bottom-up approach for microstructure optimization of sound absorbing materials*. J. Acoust. Soc. Am. 124(2), 2008.
- 6- Placet et al. *Diameter dependence of the apparent tensile modulus of hemp fibres*. Comp. A 43, 2012.
- 7- Chevillotte et al. *Visco-thermal dissipations in heterogeneous porous media*. J. Acoust. Soc. Am. 133 (5), 2013.
- 8- Gourlay, Glé, Arnaud et Gourdon. *Propriétés multiphysiques des bétons de chanvre*. Mat. et Tech., 2011.
- 9- Tarnow. *Airflow resistivity of models of fibrous acoustic materials*. J. Acoust. Soc. Am. 100 (6), 1996.
- 10- Tahir et al. *Modeling the role of microstructural parameters in radiative heat transfer through disordered fibrous media*. Int. J. of Heat and Mass Trans. 53, 2010.
- 11- Lafarge et al. *Dynamic compressibility of air in porous structures*. J. Acoust. Soc. Am. 102 (4), 1997.
- 12- Martinez-Garcia et al. *Correlation function approach for estimating thermal conductivity in highly porous fibrous materials*. Rec. Adv. in Fluid Mech. and Heat & Mass Trans., 2012.