

Titre de la thèse : Etude numérique et expérimentale de l'écoulement alterné de fluides compressibles au sein d'un régénérateur. Approche multi-échelle.

Laboratoire d'accueil : Institut Femto-st / Département Énergie

Spécialité du doctorat préparé : Énergétique

Mots-clefs : écoulements gazeux alternés ; transferts thermiques ; simulation numérique ; métrologie thermique et fluidique.

Descriptif détaillé de la thèse :

Introduction / contexte :

Les machines thermiques alternatives à cycles de Stirling, motrices et réceptrices, fonctionnent avec un gaz compressible en écoulement alterné. Ce gaz subit des cycles thermodynamiques de compressions, transvasements avec accumulation et restitution de chaleur, et détente aux travers de différents échangeurs dont les régénérateurs. L'optimisation de ces échangeurs, et donc celui de la machine, repose sur la compréhension et la maîtrise de ces écoulements dont l'étude (expérimentale et numérique) est encore sujette à de nombreux développements au niveau international. L'interaction fluide/paroi reste encore un domaine d'étude où il est nécessaire de comprendre les mécanismes de transferts de chaleur pariétaux et de pertes de charge (frottements, singularité). Cette thèse a pour objectifs principaux d'approfondir ces deux aspects. L'approche multi-échelle permettra d'aborder le comportement physique des écoulements avec transferts de chaleur par des simulations numériques et des expérimentations et de définir des lois d'échelle dans le but de caractériser ces systèmes aux échelles micro et macro-métriques.

Travaux envisagés :

Les travaux débiteront par un état de l'art. Les simulations numériques des écoulements alternés compressibles avec gradients de température seront réalisées avec le code de simulation Ansys Fluent. Des campagnes d'essais expérimentaux seront réalisées afin de déterminer les performances thermo-fluidiques des régénérateurs à partir de mesures stationnaires de températures, vitesses et pressions. Les résultats des simulations et des expérimentations seront comparés à ceux de la littérature. Ces recherches permettront d'établir des corrélations de coefficients de frottements et d'échange thermique en écoulements compressibles alternés, d'exprimer des efficacités d'échangeurs à différentes échelles spatiales et temporelles. Nous décrirons également les pertes thermo-fluidiques à partir de critères thermodynamiques de type entropique.

Références bibliographiques :

[1] P. C. T. de Boer, "Optimal regenerator performance in Stirling engines," International Journal of Energy Research, vol. 33, no. 9, pp. 813–832, 2009. <http://dx.doi.org/10.1002/er.1516>

- [2] W. J. Koehler, S. V. Patankar, and W. E. Ibele, "Numerical prediction of turbulent oscillating flow in a circular pipe," in IECEC-90; Proceedings of the 25th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, Volume 5, vol. 5, 1990, pp. 398–406.
- [3] S. M. Tew, Roy C.Geng, "Overview of NASA supported Stirling thermodynamic loss research," in Intersociety Energy Conversion Engineering Conference ; 27th ; 3-7 Aug. 1992 ; San Diego, CA ; United States, U. States, Ed. NASA Lewis Research Center ; Cleveland, OH, United States, Jan 01, 1992
- [4] E. Saint-Ellier, "Non linéarités acoustiques et streaming de Rayleigh : mesures appliquées à la thermoacoustique," Ph.D. dissertation, Université de Franche-Comté, 05 Décembre 2013.
- [5] A. Meunier, "Contribution théorique et expérimentale à l'étude d'un système magnétocalorique : application au développement d'un prototype industriel de pompe à chaleur," Ph.D. dissertation, Université de Franche-Comté, 28 septembre 2016.
- [6] S. Isshiki, Y. Takasaki, I. Ushiyama, and N. Isshiki, "An experimental study on flow resistance of regenerator wire meshes in oscillatory flow [in Stirling engines]," in Energy Conversion Engineering Conference, 1997. IECEC-97., Proceedings of the 32nd Intersociety, 1997.
- [7] E. G. Richardson, "The amplitude of sound waves in resonators," Proceedings of the Physical Society, vol. 40, no. 1, p. 206, 1927. <http://stacks.iop.org/0959-5309/40/i=1/a=328>
- [8] M.T. Pamuk and M. Özdemir. Friction factor, permeability and inertial coefficient of oscillating flow through porous media of packed balls. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 38:134 – 139, 2012.
- [9] M.S. Kahaleras, G. Layes, F. Lanzetta, and P. Nika. Friction factor and regenerator effectiveness in an oscillating gas flow. In *HTFFM 2014, Heat Transfer and Fluid Flow in Microscale*, apr 2014.
- [10] S. Vanapalli, H.J.M. Brake, H.V. Jansen, J.F. Burger, H.J. Holland, T.T. Veenstra, and M.C. Elwenspoek. Pressure drop of laminar gas flows in a microchannel containing various pillar matrices. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 17(7):1381, 2007.
- [11] E. Dellali, S. Bégot, F. Lanzetta, E. Gavignet and J.Y. Rauch, "Pressure drop analysis of oscillating flows through a miniature porous regenerator under isothermal and nonisothermal conditions", *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 103, pp. 394 - 405, may. 2019
- [12] S. Djetel-Gothe, F. Lanzetta and S. Bégot, "Second Law Analysis for the Experimental Performances of a Cold Heat Exchanger of a Stirling Refrigeration Machine ", *Entropy*, vol. 22, 2, n°215 (15 pages), 2020.
- [13] S. Djetel-Gothe, M. Doubs, M.S. Kahaleras, F. Lanzetta, G. Layes, Regenerator And Method For Manufacturing Such A Regenerator, WO2020127300 (A1), June, 25, 2020.

Profil demandé :

Fortes compétences en thermique, thermodynamique et mécanique des fluides ; très bonnes compétences en simulation numérique ; motivation pour l'expérimentation ; anglais scientifique.

Financement : MESRI, contrat doctoral établissement UFC

Dossier à envoyer pour le XXX
Début du contrat : octobre 2021

Direction / codirection de la thèse : François Lanzetta / Guillaume Layes
francois.lanzetta@univ-fcomte.fr / guillaume.layes@univ-fcomte.fr

PhD title: Numerical and experimental study of the alternating flow of compressible fluid in a regenerator. Multi-scale approach.

Host laboratory: Femto-st Institute / Energy department

Speciality of PhD: Energy

Keywords: alternating gas flows; heat transfers; numerical simulation; thermal and fluid metrology.

Job description:

Introduction / context:

The alternative thermal machines with Stirling cycles, engines and refrigerators, work with a compressible gas in alternating flow. This gas undergoes thermodynamic cycles of compression, transfer with heat accumulation or restitution, and expansion. That happens through various exchangers including regenerators. The optimization of these exchangers, and thus that of the machine, relies on the understanding and control of these flows. Their study (experimental and numerical) is still subject to many developments at the international level. The fluid/wall interaction is still an area of study for which it is necessary to understand the mechanisms of parietal heat transfer and pressure drops (friction, singularity). The main objectives of this thesis are to investigate these two aspects. The multiscale approach will allow to address the physical behavior of gas flows with heat transfer by numerical simulations and experiments and to define scaling laws in order to characterize these systems at micro and macro scales.

Work:

The research will start with a state of the art. Numerical simulations of alternating compressible flows with temperature gradients will be performed with the Ansys Fluent simulation code. Experimental test campaigns will be carried out in order to determine the thermofluidic performances of the regenerators from unsteady temperatures, velocities and pressures measurements. The results of the simulations and experiments will be compared with literature ones. These investigations will allow us to establish correlations of friction factors and convection heat coefficients in alternating compressible flows as well as to express heat exchanger efficiencies at different spatial and temporal scales. We will also describe the thermo-fluidic losses from thermodynamic criteria with second law analysis.

References:

- [1] P. C. T. de Boer, "Optimal regenerator performance in Stirling engines," International Journal of Energy Research, vol. 33, no. 9, pp. 813–832, 2009. <http://dx.doi.org/10.1002/er.1516>

- [2] W. J. Koehler, S. V. Patankar, and W. E. Ibele, "Numerical prediction of turbulent oscillating flow in a circular pipe," in IECEC-90; Proceedings of the 25th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, Volume 5, vol. 5, 1990, pp. 398–406.
- [3] S. M. Tew, Roy C.Geng, "Overview of nasa supported Stirling thermodynamic loss research," in Intersociety Energy Conversion Engineering Conference ; 27th ; 3-7 Aug. 1992 ; San Diego, CA ; United States, U. States, Ed. NASA Lewis Research Center ; Cleveland, OH, United States, Jan 01, 1992
- [4] E. Saint-Ellier, "Non linéarités acoustiques et streaming de Rayleigh : mesures appliquées à la thermoacoustique," Ph.D. dissertation, Université de Franche-Comté, 05 Décembre 2013.
- [5] A. Meunier, "Contribution théorique et expérimentale à l'étude d'un système magnétocalorique : application au développement d'un prototype industriel de pompe à chaleur," Ph.D. dissertation, Université de Franche-Comté, 28 septembre 2016.
- [6] S. Isshiki, Y. Takasaki, I. Ushiyama, and N. Isshiki, "An experimental study on flow resistance of regenerator wire meshes in oscillatory flow [in Stirling engines]," in Energy Conversion Engineering Conference, 1997. IECEC-97., Proceedings of the 32nd Intersociety, 1997.
- [7] E. G. Richardson, "The amplitude of sound waves in resonators," Proceedings of the Physical Society, vol. 40, no. 1, p. 206, 1927. <http://stacks.iop.org/0959-5309/40/i=1/a=328>
- [8] M.T. Pamuk and M. Özdemir. Friction factor, permeability and inertial coefficient of oscillating flow through porous media of packed balls. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 38:134 – 139, 2012.
- [9] M.S. Kahaleras, G. Layes, F. Lanzetta, and P. Nika. Friction factor and regenerator effectiveness in an oscillating gas flow. In *HTFFM 2014, Heat Transfer and Fluid Flow in Microscale*, apr 2014.
- [10] S. Vanapalli, H.J.M. Brake, H.V. Jansen, J.F. Burger, H.J. Holland, T.T. Veenstra, and M.C. Elwenspoek. Pressure drop of laminar gas flows in a microchannel containing various pillar matrices. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 17(7):1381, 2007.
- [11] E. Dellali, S. Bégot, F. Lanzetta, E. Gavignet and J.Y. Rauch, "Pressure drop analysis of oscillating flows through a miniature porous regenerator under isothermal and nonisothermal conditions", *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 103, pp. 394 - 405, may. 2019
- [12] S. Djetel-Gothe, F. Lanzetta and S. Bégot, "Second Law Analysis for the Experimental Performances of a Cold Heat Exchanger of a Stirling Refrigeration Machine ", *Entropy*, vol. 22, 2, n°215 (15 pages), 2020.
- [13] S. Djetel-Gothe, M. Doubs, M.S. Kahaleras, F. Lanzetta, G. Layes, Regenerator And Method For Manufacturing Such A Regenerator, WO2020127300 (A1), June, 25, 2020.

Candidate Profile: Strong thermal, thermodynamic and fluid mechanics skills; very good numerical simulation skills; motivation for experimentation; scientific English.

Financing Institution: French Ministry of Higher Education, Research and Innovation, University of Franche-Comté

Application deadline:

Start of contract: october 2021

Supervisor(s): François Lanzetta / Guillaume Layes
francois.lanzetta@univ-fcomte.fr / guillaume.layes@univ-fcomte.fr