

Nanostructures phononiques pour le transfert thermique par conduction

Localisation :

Centre d’Énergétique et de Thermique de Lyon (CETHIL)
UMR 5008 CNRS, INSA de Lyon, Université Claude-Bernard Lyon 1

Mots clés : Nanosciences, nanomatériaux, conductivité thermique, phonons, ondes, rectification

Sujet de thèse :

Le développement des nanotechnologies et de nouveaux nanomatériaux pour l’énergie permet aujourd’hui d’envisager le contrôle du transfert de chaleur dans les matériaux solides à l’échelle des porteurs de chaleur [1]. Dans les matériaux non-métalliques, la chaleur est transportée par les phonons (ondes acoustiques de hautes fréquences [2-3]). La structuration de la matière peut être effectuée à deux échelles : à celle de la longueur d’onde des phonons (λ_{th}) de l’ordre du nanomètre à température ambiante, ou à celle des libres parcours moyens des phonons (LPM) de l’ordre de la centaine de nanomètres dans un grand nombre de matériaux (voir Figure 1).

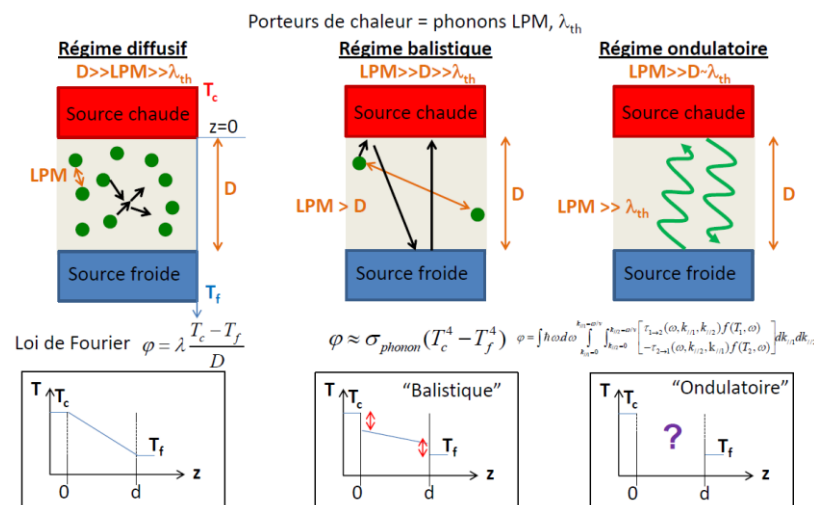


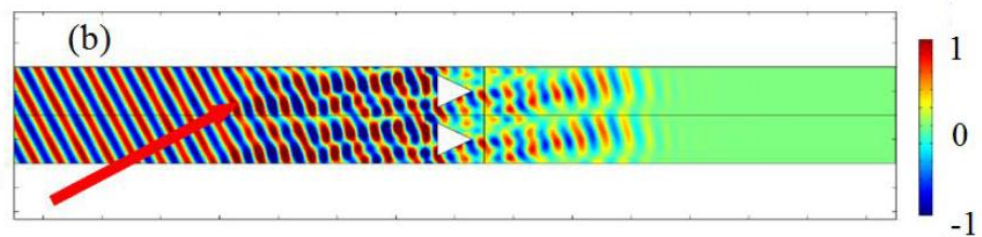
Figure 1. Régimes de transfert de chaleur par conduction, en fonction de la taille du milieu.

(a) Régime diffusif (loi de Fourier), lorsque la taille D du milieu est grande devant le libre parcours moyen des porteurs d’énergie (distance entre deux collisions avec d’autres porteurs d’énergie) et leur longueur d’onde. (b) Régime balistique, lorsque les porteurs d’énergie sont confinés parce que la taille du milieu est plus petite que leur libre parcours moyen. (c) Régime ondulatoire, lorsque le milieu est plus petit que le libre parcours moyen et de l’ordre de la longueur d’onde.

À l’échelle du libre parcours moyen, un phonon peut être considéré comme une particule et le transport est diffusif (il est alors régi par la loi de Fourier bien connue) ou balistique (la loi de Fourier n’est plus valide). Ce second régime commence à être mieux connu.

À l’échelle de la longueur d’onde, des travaux très récents ont montré qu’il est maintenant possible de concevoir des milieux nanostructurés qui préservent les propriétés ondulatoires (cohérence) des phonons [4], jusqu’à à des températures proches de l’ambiante [5].

Figure 2. Phonon (onde acoustique) incident sur un réseau de particules triangulaire et diffusion de l'onde.



Suite à ces premiers travaux, nous proposons d'étudier de manière numérique des nanostructures de tailles finies qui pourront interagir avec les phonons (voir Figure 2, [6]). Les effets d'asymétrie sont particulièrement importants. Pour une onde acoustique en milieu linéaire, la transmission de l'onde incidente de gauche à droite ou de droite à gauche est identique bien que l'objet diffusant soit asymétrique. Ceci est lié au principe de réciprocité des ondes. Ce principe n'est plus nécessairement applicable pour un milieu non-linéaire asymétrique. Dans ce cas, il est possible de concevoir des structures qui laissent passer les phonons dans une direction et les bloquent dans la direction opposée ; la traduction à l'échelle macroscopique est la possibilité de laisser passer un flux thermique dans une direction et de le bloquer dans l'autre. Ce phénomène s'appelle **rectification** et permettrait de nombreuses améliorations dans bien des domaines, notamment pour l'isolation thermique ou le contrôle passif des flux d'énergie.

Différentes structures seront étudiées par simulation numérique : « cristaux phononiques » [4], objets finis asymétriques, et milieu localement apériodiques. La compréhension des transferts de chaleur engendrée par ce travail devrait permettre de concevoir des expériences originales devant confirmer les prédictions.

Des déplacements et des missions, notamment en France et en Europe, sont à prévoir.

[1] *Introduction to heat transfer at nanoscale*, P.-O. Chapuis, in "Thermometry at the nanoscale: Techniques and selected applications", RSC Publishing, F. Palacios and L. Carlos ed., 2015.

<http://pubs.rsc.org/en/content/ebook/978-1-84973-904-7#!divbookcontent>

[2] J. Cuffe, *et al.*, Nano Lett. 12, 3569 (2012)

[3] J. Cuffe, *et al.*, Phys. Rev. Lett. 110, 069953 (2013)

[4] N. Zen, *et al.*, Nature Comm. 5, 3435 (2014)

[5] J. Ravichandran, *et al.*, Nature Mat. 13, 168 (2014)

[6] *Phononic thermal resistance due to a finite periodic array of nano-scatterers*, T. Nghiem and P.O. Chapuis, Journal of Applied Physics, sous presse (2006). Voir aussi <http://arxiv.org/abs/1512.07064>.

Prérequis : Le(la) candidat(e) possèdera un M2 (ou diplôme équivalent d'une grande école) en physique ou en sciences pour l'ingénieur. Il(Elle) sera intéressé(e) par l'utilisation de moyens numériques et la simulation.

Encadrement de la thèse :

P-Olivier CHAPUIS Chargé de Recherche CNRS (olivier.chapuis@insa-lyon.fr ; 04 72 43 63 85)

Financement : Thèse susceptible d'être financée par un contrat doctoral de l'INSA et effectuée dans le cadre de l'Ecole Doctorale « MEGA de Lyon ». L'obtention du financement requiert une audition par un jury de l'Ecole Doctorale en juin 2017, qui prend en compte les notes de M2.

Procédure : Transmettre par e-mail votre CV, votre lettre de motivation, vos notes de M2, ainsi que les noms de références qui pourront vous recommander.



(english version upon request)