

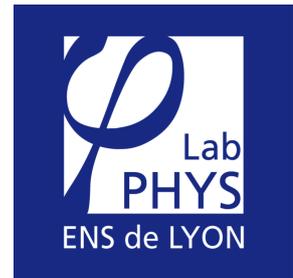
Proposition de stage M2 / thèse

## Fluctuations thermiques dans un système hors d'équilibre stationnaire

*Directeur :* Ludovic Bellon

*Institution :* Laboratoire de Physique ENS Lyon, UMR 5672  
46 allée d'Italie  
69364 Lyon cedex 07, FRANCE  
<http://www.ens-lyon.fr/PHYSIQUE/>

*Contacts :* Email : [Ludovic.Bellon@ens-lyon.fr](mailto:Ludovic.Bellon@ens-lyon.fr)  
Téléphone : (+33) 4 26 23 39 56  
Web : <http://perso.ens-lyon.fr/ludovic.bellon/>



*Bourse :* Financement à obtenir auprès de l'école doctorale PHAST

*Calendrier :* candidatures ouvertes jusqu'en mai 2017

*Résumé :*

La physique statistique fournit de nombreux outils pour étudier les systèmes à l'équilibre, au nombre desquels le principe d'équipartition de l'énergie ou le théorème fluctuation-dissipation (TFD). Ces outils permettent notamment une compréhension fine des fluctuations thermiques, dont les manifestations sont de plus en plus présentes alors que l'on s'intéresse à des systèmes de petite taille (processus bio-physiques ou nanotechnologies par exemple) ou à des mesures à haute résolution (détecteurs d'ondes gravitationnelles par exemple). Toutefois, les situations d'équilibre sont plus souvent l'exception que la norme, et la question des fluctuations dans ces systèmes hors d'équilibre est bien plus épineuse à aborder.

Une situation commune est celle d'un système soumis à un flux de chaleur stationnaire. Dans un fluide par exemple, la transport de chaleur induit la plupart du temps un mouvement du milieu (convection), et une augmentation des fluctuations par rapport à une situation d'équilibre. Dans un solide, des observations contradictoires ont été réalisées. Pour des déformations longitudinales d'une poutre soumise à un flux de chaleur modéré ( $\Delta T \sim 10K$ ), L. Conti et collaborateurs [[JSTAT P12003, 2013](#)] observent un excédent de fluctuations par rapport à un système à l'équilibre avec la même température moyenne  $T \sim 300K$ . Pour les modes de flexion d'une poutre en silicium, nous observons au contraire un déficit de fluctuations, pour des flux de chaleur bien plus importants ( $\Delta T \sim 500K$ , avec une température minimale à l'ambiante). Nous proposons une extension du TFD à un système à température et dissipation non uniformes dans l'espace qui permet d'expliquer nos observations (mais pas celles du groupe italien).

Ce sujet de thèse propose de poursuivre l'étude expérimentale et la modélisation de ce système, pour tester la robustesse de notre modèle et tenter de lever la contradiction entre les observations. Un micro-levier en silicium soumis à un flux de chaleur permet en effet de disposer d'un système modèle idéal pour l'étude des fluctuations thermiques hors d'équilibre : il est suffisamment petit pour que ses fluctuations soient « facilement » mesurables, ses degrés de libertés sont aisément identifiables et découplés, et il est suffisamment grand pour avoir une température non uniforme. Nous pouvons avec le dispositif expérimental actuel atteindre la température de fusion du silicium

sur l'extrémité libre du levier, soit 1400°C, tout en maintenant l'encastrement à température ambiante. Plusieurs angles d'attaque seront exploités pour poursuivre l'étude:

- Nous étudierons (expérimentalement et théoriquement) la modification des fluctuations des modes de torsion d'un levier par le flux de chaleur, pour tester la robustesse de notre approche à des déformations variées.
- Nos mesures initiales seront étendues à une gamme de température plus vaste, en refroidissant le point d'encastrement du levier à des températures cryogéniques (10K), augmentant ainsi le contraste entre températures minimales et maximales : d'un facteur 5-6 aujourd'hui (de 300K à 1700K), nous pouvons potentiellement atteindre un facteur supérieur à 100 (de 10K à 1700K). Ces expériences seront utiles pour explorer en détail notre modèle, mettant en évidence le rôle des contrastes de dissipation.
- La distribution spatiale de la dissipation joue un rôle clef dans notre modèle, et permet potentiellement de piloter l'amplitude relative des fluctuations thermiques des différents modes de vibration d'un système mécanique. À l'aide de modifications contrôlées des processus de dissipation mécanique le long d'un micro-levier, nous tenterons de démontrer cet effet.
- Au delà de mesures sur un levier sous vide, nous étudierons le cas d'un système au contact d'un gaz, pour comprendre l'impact du couplage fluide-structure. L'exploitation des fluctuations thermiques requière alors la mesure indépendante de la distribution de température, que nous réaliserons par des études de diffusion Raman résolues en espace.

L'ensemble de ces mesures et modélisations devrait permettre à terme d'offrir un panorama complet et original dans une thématique de recherche contemporaine très active. De nombreuses digressions au sujet central sont envisageables : transitions de phases localisées à l'aide du contrôle de la température d'une pointe de microscopie à force atomique, étude de la dynamique de nucléation de ménisques d'eau à l'échelle du contact nanométrique unique, tribologie de nanotubes de carbone, instrumentation et métrologie en nanosciences...

