

Etude expérimentale d'un thermostat hors-équilibre

J.-Y. Chastaing, J.-C. Géminard & A. Naert

Laboratoire de Physique - ENS de Lyon - CNRS 46, Allée d'Italie, 69007 Lyon - FRANCE
jeanyonnel.chastaing@ens-lyon.fr

Un gaz granulaire est l'archétype du système physique hors d'équilibre. Les chocs dissipatifs entre les particules nécessitent qu'on entretienne le système, afin de le maintenir dans un état stationnaire. Pour cela, on peut par exemple le soumettre à une accélération verticale périodique de quelques dizaines de g . Pour sonder ce gaz, on utilise comme capteur une pale verticale, mobile, fixée sur l'axe de rotation d'une micro-machine à courant continu plongée dans le gaz. On utilise la propriété de symétrie de la machine à courant continu, qui peut induire une force électromotrice à partir d'une vitesse angulaire (génératrice), ou convertir un courant électrique en couple mécanique (moteur). Ainsi, grâce à ce dispositif, on peut simultanément exercer une force contre le gaz granulaire, et mesurer la vitesse angulaire qui résulte du couple moteur et des chocs des grains sur la pale. Se posent alors plusieurs questions de principe : comment définir la température de ce thermostat hors-équilibre ? Au delà de l'aspect dissipatif du système, le chaos moléculaire est-il suffisant pour pouvoir parler de thermostat ?

Dans une première expérience [1], on étudie les fluctuations du flux d'énergie entre le gaz et la pale soumise à un couple périodique. Les statistiques du travail échangé entre le gaz et la pale sont étudiées dans le cadre du Théorème de Fluctuation. Il apparaît alors une énergie caractéristique E_c du gaz, proportionnelle (mais pas égale) à l'énergie cinétique du même gaz libre. On étudie également [2] les transitions entre des états stationnaires hors-équilibre (NESS). L'égalité d'Hatano-Sasa, qui généralise le second principe aux NESS, est vérifiée avec une grande précision, et ce, à différentes vitesses de forçage. De plus, nous observons que les fluctuations de vitesse suivent une distribution de Gumbel généralisée. Une dernière expérience [3] consiste à coupler deux gaz granulaires électro-mécaniquement. Il apparaît que le flux d'énergie d'un gaz vers l'autre est proportionnel à la différence des "températures" (comme dans le cas de thermostats à l'équilibre). Les fluctuations du flux instantané sont en général asymétriques et vérifient une relation très proche de celle du Théorème de Fluctuation.

Enfin, se pose la question de la modélisation de ce gaz. Sa dynamique est dans une certaine mesure décrite par une équation de Langevin, malgré la présence de corrélations. Toutefois, il est nécessaire de faire un lien entre les coefficients de trainée et de diffusion de l'équation de Langevin et les quantités fluctuantes de notre gaz. En étudiant l'auto-corrélation de la vitesse de la pale et ses incréments, nous montrons qu'à température constante, les temps de corrélation augmentent lorsque le nombre de grains dans le gaz diminue. Enfin, il est également possible de tester la validité du Théorème de Fluctuation-Dissipation, à savoir que fluctuations libres et réponse à une excitation sont proportionnellement liés par la température du système.

Références

1. A. NAERT, Experimental study of work exchange with a granular gas : The viewpoint of the Fluctuation Theorem, *EPL*, **97**, 20010 (2012).
2. A. MOUNIER AND A. NAERT, The Hatano-Sasa equality : Transitions between steady states in a granular gas, *EPL*, **100**, 30002 (2012).
3. C.-E. LECOMTE AND A. NAERT, Experimental study of energy transport between two granular gas thermostats, *J. Stat. Mech.*, P11004 (2014).