SFP 2011-0

Mode de respiration d'un système de particules en interaction

Alain Olivetti[1⋆], Juline Barré[1], Bruno Marcos[1], Freddy Bouchet[2] et Robin Kaiser[3]

1. Laboratoire J.A. Dieudonné, Université de Nice Sophia-Antipolis, Nice
2. Laboratoire de Physique, CNRS/ENS de Lyon, Université de Lyon, Lyon
3. Institut Non-Linéaire de Nice, CNRS/Université de Nice-Sophia Antipolis, Valbonne
⋆ *alain.olivetti@unice.fr*

Les systèmes de particules piégées sont étudiés dans de nombreux domaines de la physique : plasmas confinés, atomes froids piégés, condensats de Bose-Einstein, colloides, ions piègés, systèmes astrophysiques, ces derniers étant confinés à l'aide des interactions gravitationnelles entre particules.

Les premiers modes d'oscillation de ces systèmes sont très importants car ils constituent des outils non invasifs. En particulier, le mode de respiration permet d'obtenir de nombreuses informations sur les effets collectifs qui peuvent exister. Par conséquent, il existe déjà énormément de résultats dans la littérature selon le type de problème étudié :

- des systèmes avec interaction courte portée, comme par exemple un gaz de particules qui interagissent via un potentiel de type Coulomb écranté,
- des systèmes avec interaction longue portée, comme les plasmas non-neutres ou les systèmes issus de l'astrophysique, que ce soit pour des gaz (faible interaction) ou des fluides (forte interaction).

Dans toutes ces situations, les premiers modes d'oscillation ont été étudiés, mais en utilisant des méthodes différentes, chacune utilisant les caractéristiques propres du système en question. Dans les cas cristallisés, quand les fluctuations thermiques peuvent être négligées ou lorsque l'on s'intéresse à la dynamique des petites perturbations en linéarisant le problème, on peut directement utiliser les équations de Newton [1]. D'autre fois, on utilise l'équation de Vlasov lorsque les systèmes sont à interactions longue portée avec de faibles corrélations [2]. Mais à la fin, toutes les équations d'évolution du mode de respiration obtenu satisfont la même structure. Ce constat est d'autant plus intéressant que les méthodes employées sont très éloignées les unes des autres et surtout qu'elles sont obtenues pour des systèmes aux comportements complètement différents. Cette situation *a priori* étonnante demande une approche plus générale afin de faire ressortir le caractère général du mode de respiration. Récemment dans [3], les auteurs ont réussi une première étape pour des systèmes fortement corrélés (ou de manière équivalente, à température nulle) et dans la limite de faibles perturbations. Cependant, une approche encore plus générale est possible dès que les interactions entre particules suivent une loi de puissance du type $F(r) \sim 1/r^k$.

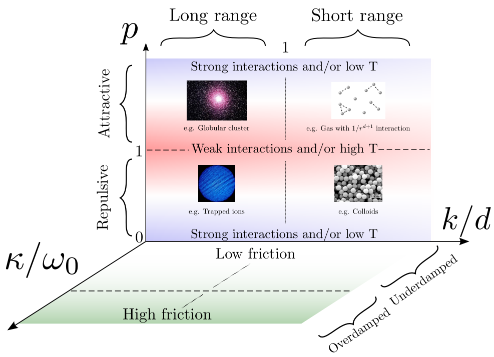

Fig. 1: Représentation schématique des différents types de systèmes englobés par la présente théorie. Explications dans le texte.

La figure 1 represente l'ensemble de la gamme de systèmes qui peuvent bénéficier de cette approche. Elle s'organise autour de trois axes. L'axe horizontal représente la portée de l'interaction entre les particules que nous appellerons longue portée lorsque $k/d \leq 1$ et courte portée dans le cas contraire (d étant la dimension de l'espace). Le cas $k/d \leq 1$ étant la limite d'intégrabilité des forces d'interaction lorsque la distance entre deux particules tend vers l'infini. L'axe vertical représente la magnitude de l'interaction par rapport à l'énergie thermique du système. Enfin, le troisième axe correspond à la dissipation dans le système, normalisée par la fréquence du piège κ/ω_0.

Dans cet exposé, nous présentons une nouvelle approche du mode de respiration d'un système de particules piégées, que ce soit dans une description canonique ou microcanonique. Celle-ci permet de généraliser un certain nombre de résultats pouvant avoir été obtenus dans différents domaines de la physique [4, 5]. La théorie développée est valable pour des systèmes à courte ou longue portée et quelle que soit la dimension de l'espace ou l'importance des interactions. Remarquons que dans le cas d'interaction attractive à courte portée, des instabilités doivent prendre place à cause de singularités à petite échelle et que dans le cas d'interaction attractive à longue portée, comme la gravité, un effondrement du système est à attendre. C'est pourquoi nous n'avons pas testé notre méthode dans ces cas. Enfin, nous insistons sur le fait que notre approche décrit tout autant les systèmes isolés ou en contact avec un thermostat, que ce soit à un niveau linéaire ou non-linéaire, les predictions étant directement testées à l'aide de simulations de dynamique moléculaire (voir figure 2).

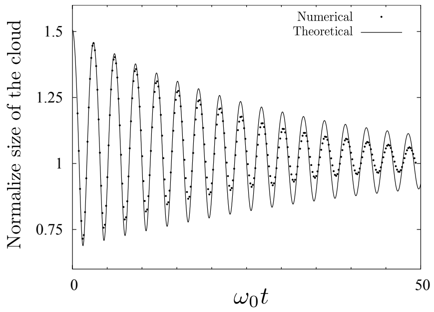

Fig. 2: Exemple de comparaison entre la taille typique du système et la prédiction théorique en fonction du temps. Le système considéré est de $N = 4000$ particules en dimension $d = 2$ et les interactions entre particules sont répulsives avec $k = 4$ (courte portée). Les particules sont confinées dans un piège harmonique de constante de raideur ω_0.

Je souhaite concourir au prix «présentation orale» et je déclare être un chercheur non-permanent n'ayant pas encore soutenu ma thèse.

Références

[1] S.W.S. Apolinario and F.M. Peeters, "Structural and dynamical aspects of small three-dimensional spherical Coulomb clusters", New J. Phys. **76**, 115419 (2007).

[2] D.H.E. Dubin, "Theory of electrostatic fluid modes in a cold spheroidal non-neutral plasma", Phys. Rev. Lett. **66**, 2076 (1991).

[3] C. Henning, K. Fujioka, P. Ludwig, A. Piel, A. Melzer and M. Bonitz, "Existence and Vanishing of the Breathing Mode inStrongly Correlated Finite Systems", Phys. Rev. Lett. **101**, 045002 (2008).

[4] A. Olivetti, J. Barré, B. Marcos, F. Bouchet and R. Kaiser, "Breathing Mode for Systems of Interacting Particles", Phys. Rev. Lett. **109**, 224301 (2009).

[5] A. Olivetti, J. Barré, B. Marcos, F. Bouchet and R. Kaiser, "Breathing Mode for Systems of Interacting Particles in the microcanonical and canonical descriptions", Transport Theory and Statistical Physics **19**, 524 (2010).