

Instabilités géométriques dans les tiges élastiques confinées

Laurent Boué & Eytan Katzav

Laboratoire de Physique Statistique
École Normale Supérieure
24 rue Lhomond
75005 Paris
lboue@ens.fr, eytan.katzav@lpt.ens.fr

Les objets élastiques évoluant dans un espace réduit sont omni-présents dans la Nature. On peut penser par exemple à la croissance des feuilles d'arbres dans les bourgeons, au pliage/froissage de tiges et surfaces (tôle froissée, origami...) où même au confinement de la chromatine et de l'ADN dans les cellules. De manière générale, ces structures développent un réseau compliqué de plis qui focalisent l'énergie. Malgré leur importance biologique et technologique, on ne comprend toujours pas en profondeur les propriétés géométriques et mécaniques de ces objets confinés.

Nous nous concentrons ici sur une géométrie particulière : une tige élastique confinée dans une cellule bi-dimensionnelle (voir expériences dans [1,2]). Puisque la tige n'est pas libre de s'échapper dans la troisième dimension, le couplage entre élasticité et auto-évitement prend un rôle majeur. Une question naturelle est alors : Quelles sont les formes de tiges possibles dans cette géométrie et leurs propriétés mécaniques ? Nous proposons une approche de physique statistique pour répondre à cette question. Pour des tiges de taille macroscopique il n'y a pas de moyennage thermique du aux mouvements Browniens. Cependant, il est encore possible d'explorer l'espace de phases en supposant la présence d'une agitation mécanique extérieure ("tapping"...) introduisant une température "effective". Cette approche statistique des systèmes athermiques a déjà prouvé son utilité dans d'autres contextes physiques [3,4].

La densité de la tige à l'intérieur de la cellule sert de paramètre de contrôle. Pour de petites densités la tige remplit la cellule de manière complètement désordonnée. Dans cette phase isotrope la tige ne présente pas de direction privilégiée. Il existe ensuite une densité critique au-delà de laquelle la tige se ré-organise spontanément pour mieux s'accomoder à son espace réduit. Cette transition de phase mène à la formation de grandes régions d'auto-contacts (phase nématique) permettant un pavage de la cellule plus efficace. Si la densité continue à augmenter, la taille microscopique (longueur de monomère par exemple) rentre en jeu. Elle est responsable de l'émergence d'une nouvelle transition dite de "blocage". Il devient impossible d'injecter plus de tige dans la cellule et la structure prend un comportement solide. De nouvelles expériences [5] sont en cours pour valider ces résultats théoriques [6].

Références

1. L. Boué, M. Adda-Bedia, A. Boudaoud, D. Cassani, Y. Couder, A. Eddi and M. Trejo : "Spiral Patterns in the Packing of Flexible Structures", *Phys. Rev. Lett.* **97**, 166104 (2006).
2. C. C. Donato, M. A. F. Gomes and R. E. de Souza : "Crumpled wires in two dimensions". *Phys. Rev. E* **66**, 015102 (2002).
3. H. A. Makse, J. Brujić, S. F. Edwards : "Statistical Mechanics of Jammed Matter", in *The Physics of Granular Media*, edited by H. Hinrichsen and D. E. Wolf, Wiley-VCH (2004).
4. E. Katzav, M. Adda-Bedia and A. Boudaoud : "A statistical approach to close packing of elastic rods and to DNA packaging in viral capsids", *PNAS* **103**, 18900-18904 (2006).
5. S. Deboeuf, M. Adda-Bedia, A. Boudaoud, unpublished.
6. L. Boué, E. Katzav, unpublished