**Rides hiérarchique dans un biogel perméable et confiné**

Lorsqu'on compresse suivant sa longueur une règle en plastique elle se courbe. On dit qu'elle flambe. Pourtant lorsqu'on compresse un tapis, celui-ci ne flambe pas sur toute sa longueur mais forme des ondulations plus petites. Le poids du tapis, qui s'exerce perpendiculairement à la compression défavorise les longues ondulations. La compétition entre le poids et l'élasticité du tapis sélectionne la longueur d'onde des plis.

La cause de plis est toujours la combinaison d'une surface excédentaire responsable du flambage et d'une contrainte perpendiculaire qui sélectionne la longueur d'onde. Par exemple la peau d'une pomme dont la chair se dessèche est en excès et doit flamber, mais elle est retenue par l'élasticité de la chair et donc plisse. De même, le vieillissement et la perte des fibres élastiques rident notre peau. La différence de taux de croissance entre le tube de l'intestin et son ancrage dorsal est responsable du plissement de nos intestins. La compréhension de la physique des plis a permis ces deux dernières décennies une floraison de méthodes pour obtenir des motifs bien contrôlés. Ces ondulations peuvent être déclenchées par la dilatation du matériau avec la température, le gonflement des molécules qui le constituent ou la suppression de précontraintes.

Jusqu'à présent, les contraintes perpendiculaires élastiques (comme la pomme) ou gravitaires (comme le tapis) ont été explorées théoriquement et expérimentalement sur des interfaces libres. Cependant, lors de l’embryogenèse les tissus minces (épithélium ou endothélium) plissent alors qu'ils ont quasiment la même densité que le fluide qui les entoure et les pénètre. La gravité peut alors être négligée et ne peut expliquer la longueur d'onde des plis. Théoriquement, il a été suggéré que la viscosité du fluide s'écoulant de part et d'autre pourrait sélectionner une longueur d'onde.

Pour étudier ce type de situations biologiquement pertinentes, des chercheurs du laboratoire de physique de l’ENS de Lyon se sont inspirés de la fabrication du yaourt pour créer des films minces de biogel poreux et immergés dans un milieu visqueux de densité voisine. Le biogel est composé de caséines, une famille de protéines du lait. La gélification des caséines est contrôlée non par un ferment comme dans les yaourts mais par un acidifiant chimique. Le tout est dispersé dans de l’eau et confiné entre deux plaques transparentes. Lors du processus d’acidification, dans un premier temps, les caséines s’agglomèrent et forment un mince film élastique et poreux avec de d’eau de part et d’autre. Dans un second temps, ce film gonfle développe alors un excès de surface et plisse. La conformation du film de gel en trois dimensions est suivie au cours du temps grâce à des techniques de microscopie confocale. Ces expériences ont été réalisées à la SFR BioSciences Gerland - Lyon Sud (US8 / UMS3444).

En analysant la dynamique de la formation des plis, l'équipe lyonnaise a pu quantifier l'effet des écoulements de part et d'autre du biogel dans la sélection de la longueur d'onde. S'il s'agit parfois du mécanisme dominant, dans d'autres cas c'est un mécanisme nouveau qui domine : l'écoulement à travers le gel poreux. De plus, dans cette géométrie confinée, le phénomène de plissement se poursuit de telle sorte que de nouvelles rides apparaissent au sein des précédentes dès que l’amplitude du plissement atteint la hauteur de confinement, rappelant ainsi des poupées gigognes ou encore l’effet  "Vache qui rit" où une image contient une version plus petite d’elle-même (voir figure).

Cette étude démontre donc une méthode pour obtenir des motifs de plis concentriques originaux tout en mettant en évidence des mécanismes de sélection dynamique de longueur d'onde probablement à l'œuvre lors de la morphogenèse de l'embryon.

**En savoir plus**

Hierarchical wrinkling in a confined permeable biogel. Mathieu Leocmach, Mathieu Nespoulous, Sébastien Manneville et Thomas Gibaud. Science advances 2015.

**Contact chercheur**

Thomas Gibaud, chargé de recherche au CNRS – Web : http://perso.ens-lyon.fr/thomas.gibaud

**Informations complémentaires**

1 Laboratoire de Physique, ENS Lyon, Université de Lyon I, CNRS/UMR5672, Lyon, France

**Images**

**Figure :** dynamique de formation de motifs dans un film confiné de gel de la caséine. a) vue de de dessus, les générations successives de rides sont mises en évidence par les coloriages du jaune au rouge. b) Reconstitution 3D par microscopie confocal du gel. La barre d’échelle mesure 1 mm.

