

Panta rhei: toutes les choses coulent ?

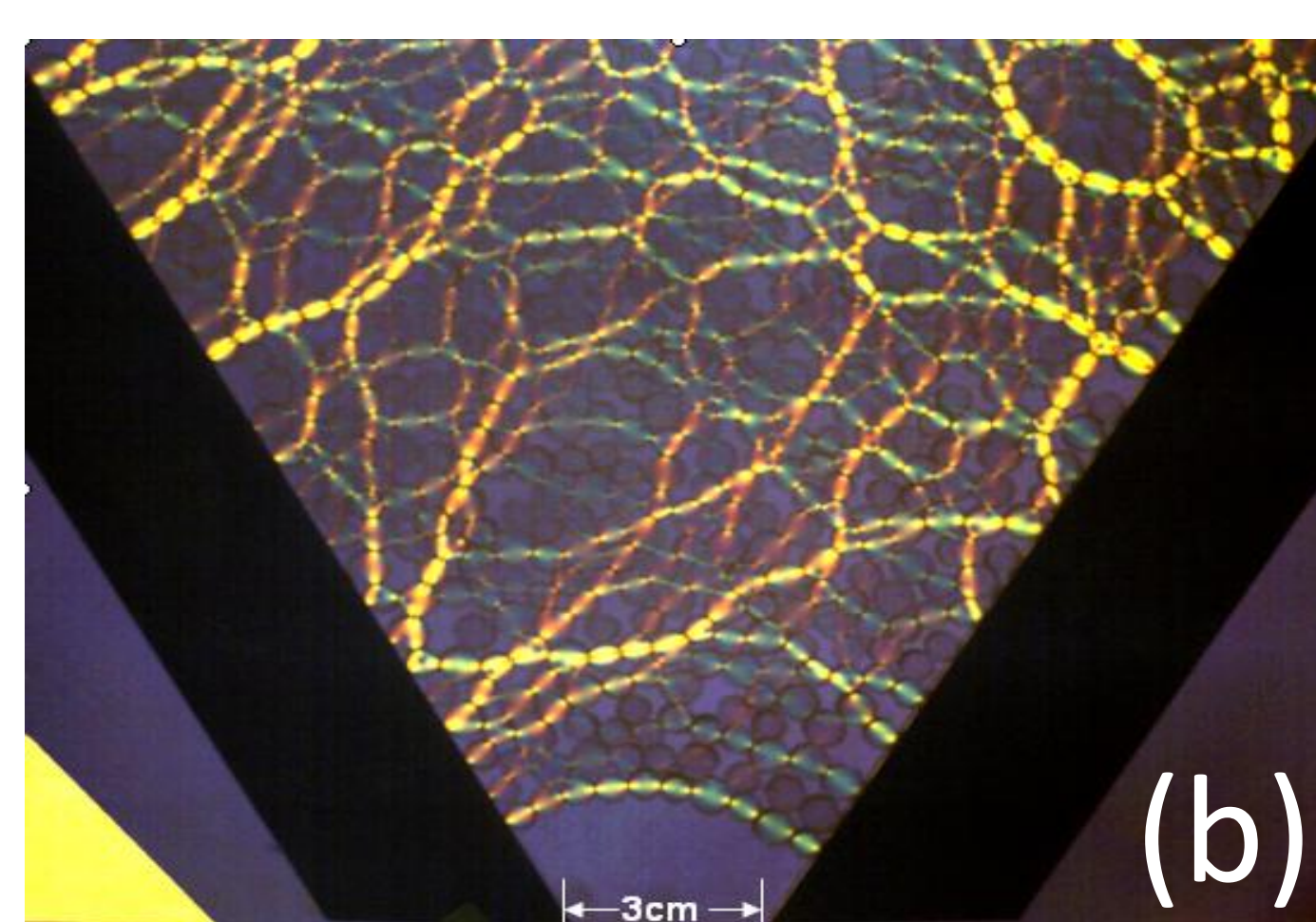
Les philosophes grecs le disaient ainsi : “*panta rhei*” c’est à dire “*toutes les choses coulent*”. L’écoulement d’un liquide par le goulot d’une bouteille, le passage de grains de riz par un trou dans un récipient, la sortie d’une foule de personnes par la porte d’une salle... sont des phénomènes qui relèvent à priori de différents champs scientifiques. Pourtant, il est partiellement possible de fournir une description mathématique commune pour expliquer ces phénomènes d’écoulement. Mais jusqu’à quel point ? Ou bien, *dans quelle manière toutes les choses coulent ?*

Milieus granulaires

Les matériaux granulaires (le sucre, les céréales, le sable, les poussières, les débris, ...) sont très courants, tant dans la nature que dans le quotidien. Une de leurs caractéristiques fondamentales est que les particules constitutives, même si parfois très petites, sont toujours de taille macroscopique (de la centaine de microns jusqu’aux centimètres). Cette propriété est à l’origine du comportement, souvent non intuitif, de ces systèmes. Elle est responsable des *interactions* dissipatives entre les grains, ce qui rend très difficile de les étudier avec les mêmes méthodologies utilisées efficacement pour les liquides et les gaz. Elle est aussi à la base des différences de comportement entre les granulaires et les fluides, en dépit des évidentes similitudes (p. ex., le sable coule comme un liquide et, comme celui-ci, peut remplir une bouteille et en sortir).



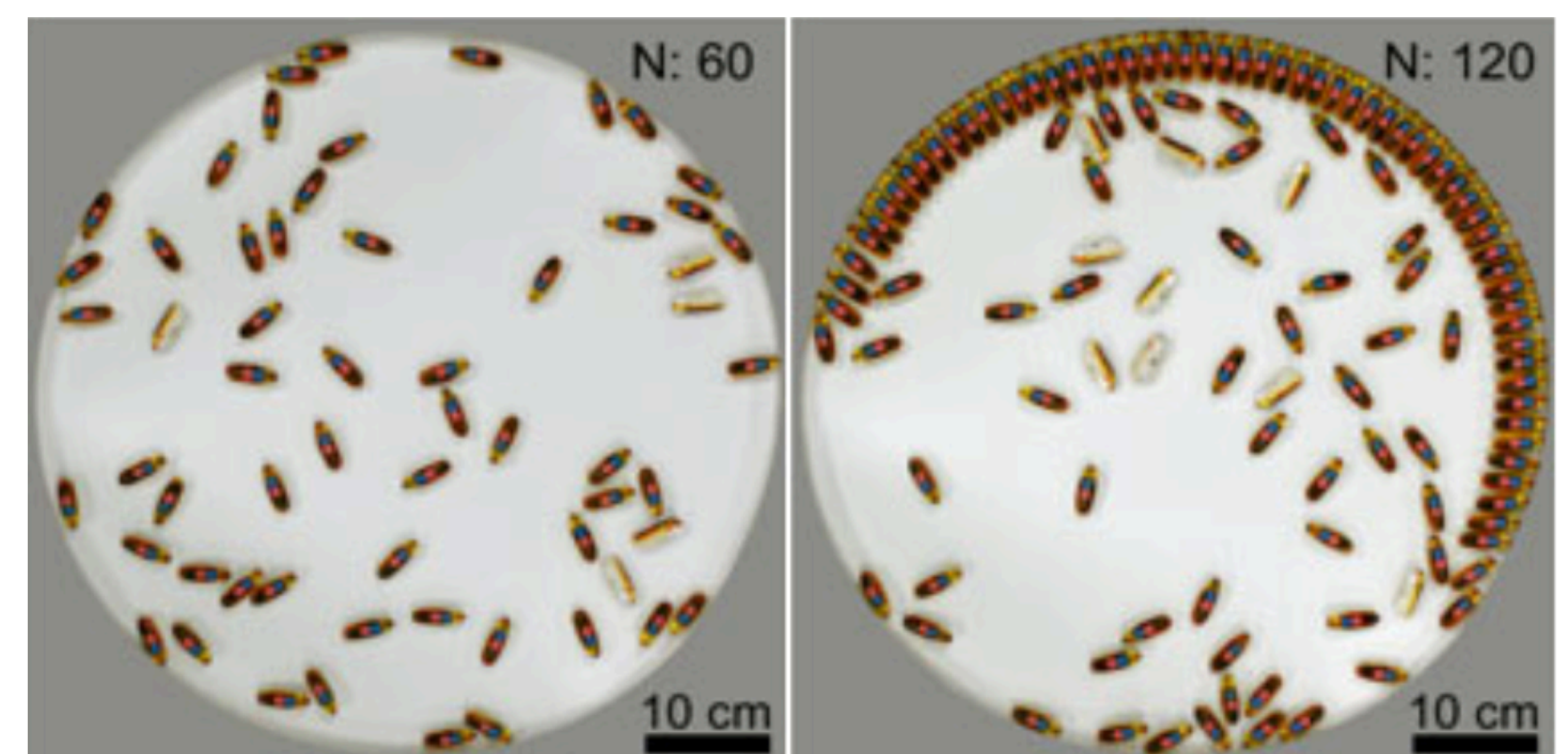
(a) L’explosion d’un conteneur de céréales peut être provoquée par les interactions entre les grains à l’intérieur. [Photo: R. Behringer, Duke University]



(b) La répartition des forces de pression (en couleur) dans un milieu granulaire est très irrégulière, avec des pressions localement très intenses sur les parois du conteneur. [<http://webhome.phy.duke.edu/~jt41/research.html>]

Motilité aléatoire et ordre collectif

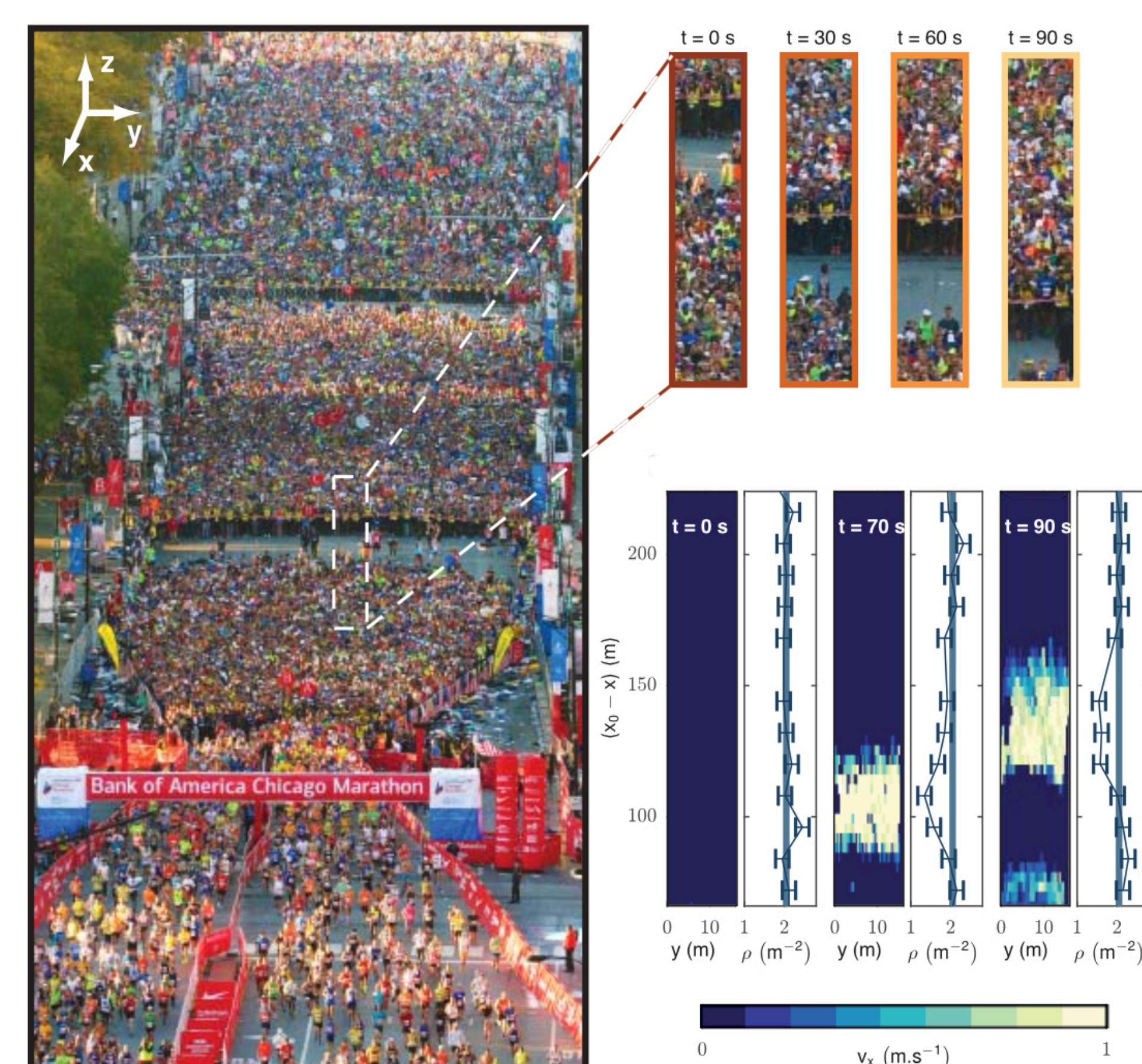
Beaucoup d’organismes biologiques peuvent se déplacer de façon autonome (nage, vol, marche, ...). Des essaims d’insectes ou des populations de microbes peuvent produire des *phénomènes collectifs*, étonnamment coordonnés, même si chaque individu fonctionne avec des règles très simples et son mouvement est aléatoire. Si individuellement leur comportement ressemble à celui des molécules d’un gaz, quand ils sont nombreux, les interactions entre eux, dues à leur mouvement et à leur forme, peuvent générer la formation de groupes d’individus se déplaçant ensemble, comme s’ils collaboraient.



Effet de ségrégation dans une population de cafards robots à des grandes densités. [Deblais et al., *Phys. Rev. Lett.* **120**, 188002 (2018)]

Dynamique des foules humaines

Les interactions entre individus peuvent aussi être de nature sociale, comme pour certains animaux, dont l’homme. Malgré la difficulté dans ce cas de fournir une description mathématique des interactions mêmes, il est tout de même possible d’observer des comportements collectifs analogues aux mouvements d’un fluide.



Les coureurs dans les sas de départ d’un marathon se déplacent comme une vague dans un fluide. [Bain et al., *Science* **363**, 46 (2019)]

La compréhension de ces phénomènes aurait des retombées énormes : de la conception de nouveaux matériaux, à la préservation des écosystèmes, jusqu’à la gestion de grandes masses de personnes dans les environnements métropolitains.

