

cristal en utilisant un fort champ magnétique pour réduire les fluctuations quantiques. Or, ces dernières années, quelques équipes ont obtenu des indices de formation d'un cristal de Wigner sans l'assistance d'un champ magnétique. Mais une démonstration décisive manquait.

Les progrès dans la synthèse de matériaux constitués d'une unique couche atomique ont ouvert la voie à des systèmes prometteurs. Les équipes de Harvard et Zurich ont utilisé du diséleniure de molybdène (MoSe_2), qui a un double avantage: la masse effective des électrons y est importante (ils circulent plus lentement, ce qui réduit l'agitation quantique) et les interactions de ces particules sont plus intenses (la répulsion coulombienne y est moins perturbée – écrantée – que dans d'autres matériaux). Il est alors possible de réunir les conditions pour obtenir un cristal de Wigner sans l'aide d'un champ magnétique et avec une densité d'électrons assez élevée.

L'équipe d'Ataç Imamoğlu a utilisé une seule couche monoatomique de MoSe_2 . En appliquant une tension électrique sur la couche, les chercheurs ont réglé finement la densité électronique et formé un cristal de Wigner, les électrons se disposant selon un réseau triangulaire. L'équipe de Hongkun Park, elle, a utilisé deux couches monoatomiques de MoSe_2 superposées et séparées par un matériau isolant, chacune pouvant contenir un cristal de Wigner. À cause des forces coulombiennes agissant entre les couches, les structures cristallines ne se formaient que pour certains rapports entiers des densités électroniques dans les deux couches.

Grâce à ce dispositif performant, les physiciens ont étudié les transitions de phase du cristal de Wigner. Une première transition peut être obtenue en augmentant la température. Le cristal fond, à l'image d'un glaçon quand la température dépasse 0°C . L'agitation thermique reprend le dessus et les électrons redeviennent un fluide. Mais une autre transition, dite « quantique », est obtenue à température constante: en augmentant la densité électronique, l'agitation quantique s'accroît et déstabilise la structure, et les électrons retrouvent leur fluidité. ■

Sean Bailly

You Zhou *et al.*, *Nature*, vol. 595, pp. 48-52, 2021;
T. Smoleński *et al.*, *ibid.*, pp. 53-57

UNE GUÊPE PARASITE EN TOUTE IMPUNITÉ



Les figes, genre d'arbres auquel appartient le figuier, et les guêpes entretiennent d'étroites relations: les premiers offrent aux secondes un lieu pour pondre et, en échange, les guêpes pollinisent l'arbre... dans la plupart des cas.

L'association étroite entre les figes du Yunnan chinois et certaines guêpes est un jeu à somme positive, où chacun tire des bénéfices de la coopération et a intérêt à la perpétuer. Les insectes pollinisent les figes et s'invitent en échange à l'intérieur des inflorescences pour y pondre leurs œufs et favoriser le développement de leurs larves. La plupart des figes réagissent aux espèces qui se défausseraient de leur rôle pollinisateur: un mécanisme encore mal connu conduit la plante à laisser choir au sol les fruits qui contiennent leurs œufs. Les guêpes les moins pollinisatrices sont ainsi désavantagées dans leur reproduction. Mais Ting Zhang, du jardin botanique tropical de Xishuangbanna, en Chine, et ses collègues ont trouvé une curieuse exception.

Les fruits du fige ginseng servent de lieu de ponte à deux guêpes: *Eupristina verticillata* et une espèce très proche non encore nommée (*Eupristina sp.*). *Eupristina verticillata* porte sur ses pattes des cils accrochant facilement le pollen et permettant sa dispersion. Sa congénère *Eupristina sp.* a perdu ces cils au fil de l'évolution et ne pollinise presque jamais les figes. Mais les chercheurs n'ont remarqué aucune forme de sanction contre ces passagères clandestines. Au contraire: les œufs d'*Eupristina sp.* donnent naissance à 25% de larves en plus que ceux d'*Eupristina verticillata* et plus souvent à des femelles, un sérieux avantage pour la perpétuation de l'espèce.

La bonne élève n'a donc pas encore obtenu d'avantage évolutif, ni été remplacée par le parasite. Ce manège pourrait donc perdurer jusqu'à ce que la plante soit en mesure de différencier les deux espèces pour l'heure bien semblables, et que le parasite soit enfin sanctionné. ■

Valentin Rakovsky

T. Zhang *et al.*, *PNAS*, vol. 118(32), article e2021148118, 2021

BIOMÉCANIQUE

COMMENT L'ÉLÉPHANT FAIT DE SA TROMPE UN OUTIL POLYVALENT

Pour exploiter toutes les possibilités de sa trompe, le pachyderme en simplifie l'usage en le réduisant à un enchaînement de mouvements élémentaires.

Décortiquer des cacahuètes, soulever des charges atteignant 270 kilogrammes, sentir, tâter, porter de l'eau à sa bouche, communiquer par signes, émettre des sons, s'asperger, se battre..., c'est autant d'actions que l'éléphant est capable de réaliser avec sa seule trompe. Cet organe polyvalent de plus d'une centaine de kilogrammes, né de la fusion entre le nez et la lèvre supérieure, est dépourvu d'os, ce qui semble lui offrir un nombre de degrés de liberté illimité. Michel Milinkovitch, de l'université de Genève, et ses collègues ont étudié la dynamique de la trompe de l'éléphant en action et ont identifié une série de mouvements de base dans l'utilisation qu'en fait le pachyderme.

Autour de ses deux canaux nasaux, la trompe de l'éléphant se compose surtout de muscles. Grâce à des méthodes modernes d'imagerie, l'équipe de Michel Milinkovitch a distingué six groupes musculaires. Ces derniers sont orientés dans la trompe de diverses façons : longitudinale, transversale et oblique, ce qui offre à l'éléphant un champ d'action très vaste. L'animal peut non seulement courber sa trompe dans la direction qu'il souhaite, mais il peut aussi la tordre, l'allonger ou la rétracter.

Encore faut-il savoir se servir de tant de muscles ! Pour tester les pachydermes, les chercheurs leur ont proposé d'attraper et de déplacer plusieurs objets de diverses formes, tailles et masses. Grâce à la pose de marqueurs réfléchissants sur la trompe, les chercheurs ont modélisé son action en trois dimensions, à l'instar du système de capture du mouvement utilisé au cinéma. Les éléphants ont démontré toute une palette de techniques de préhension en enroulant leur trompe autour des objets les plus volumineux, en saisissant les plus petits simplement avec les petits appendices situés à l'extrémité de l'organe, ou même en s'en



Alors que sa trompe est continuellement flexible, l'éléphant peut la courber de façon à former des segments rigides, comme reliés par des articulations.

35 %

LES CHERCHEURS ONT MESURÉ QU'EN L'ÉTIRANT AU MAXIMUM, UN ÉLÉPHANT POUVAIT ALLONGER

servant comme d'une ventouse sur la surface de l'objet si celui-ci était trop plat. Les chercheurs ont identifié dix-sept mouvements de base qui composent l'ensemble de ces techniques. Face à une tâche nouvelle, les éléphants expérimentent plusieurs de ces briques élémentaires à la suite en se référant à des situations précédentes, jusqu'à trouver la plus efficace.

Malgré le nombre de degrés de liberté dont jouit une trompe, le pachyderme se rapporte donc à des gestes bien plus simples. De façon surprenante, l'animal peut aussi déformer sa trompe pour construire des segments rigides connectés par des articulations virtuelles, donnant l'impression de l'existence d'un coude et d'un poignet, alors que leur trompe ne comporte aucun os et est continuellement flexible et déformable. On observe également cette simplification du mouvement en petits segments sur les bras des pieuvres.

D'après Michel Milinkovitch et ses collègues, les propriétés de la trompe de l'éléphant et sa polyvalence seraient une source d'inspiration très riche pour la robotique. L'organe de l'animal est par exemple capable de se manipuler lui-même, pour se gratter ou se nettoyer, une compétence qui servirait à bien des bras mécaniques. ■ V. R.

P. Dagenais et al., *Current Biology*, vol. 31, pp. 1-11, 2021