

## MEDIOS DE COMUNICACIÓN

### Découverte de « l'effet papillon du chaos » dans les essaims et les troupes d'animaux Découverte des mathématiciens de l'UC3M et de l'UCM

Des chercheurs de l'Universidad Carlos III de Madrid (UC3M) et de l'Universidad Complutense de Madrid (UCM) ont découvert un changement de phase entre des états chaotiques qui peuvent apparaître dans les troupes d'animaux et, en particulier, dans les essaims d'insectes. Cette avancée pourrait permettre de mieux comprendre leur comportement ou d'être appliquée à l'étude du mouvement des cellules ou des tumeurs.

Un changement de phase se produit lorsque les conditions d'un système changent radicalement, par exemple lorsque l'eau passe de l'état liquide à l'état solide par congélation. Dans cette recherche, récemment publiée dans la revue *Physical Review E*, ce groupe de mathématiciens a découvert un tel phénomène dans les essaims. « Les insectes en essaim sont maintenus dans un volume confiné, même s'ils se trouvent dans un parc ou dans un espace ouvert. Pour l'expliquer, on suppose qu'il existe un potentiel harmonique, une sorte de force de récupération qui les confine (comme celle d'un ressort qui tente de revenir à sa position de repos lorsque nous l'étirons ou le contractons) », explique l'un des auteurs de l'étude, Luis L. Bonilla, directeur de l'Institut Gregorio Millán Barbany de l'UC3M.

Ce confinement des insectes répond à une constante de proportionnalité entre la force et le déplacement. Les chercheurs ont constaté que pour de faibles valeurs de confinement, le mouvement des insectes dans l'essaim est chaotique (leurs mouvements changent fortement si les conditions initiales sont modifiées). Dans ce contexte, le changement de phase se produit lorsque l'essaim se divise en plusieurs essaims qui sont toutefois étroitement liés les uns aux autres, car les insectes se déplacent de l'un à l'autre. À la ligne critique entre les phases de ce changement, la distance entre deux insectes de l'essaim qui s'influencent mutuellement est proportionnelle à la taille de l'essaim, même si le nombre d'insectes dans l'essaim croît indéfiniment. C'est ce qu'on appelle le « chaos sans échelle », qui n'avait pas été découvert jusqu'à présent, expliquent les chercheurs. « Au fur et à mesure que le nombre d'insectes augmente, la ligne critique se déplace vers le confinement zéro. La distance maximale entre deux insectes qui ressentent encore l'influence de l'autre est proportionnelle à la taille de l'essaim. Peu importe le nombre d'insectes que l'on y met. C'est une nouveauté absolue que nous avons découverte », explique l'un des auteurs de l'étude, Luis L. Bonilla, directeur de l'Institut Gregorio Millán Barbany de l'UC3M.

Et plus précisément, ces mathématiciens prédisent, au moyen de simulations numériques, que certains essaims d'insectes (en particulier une classe de petites mouches) ont un comportement chaotique sans échelle, qui se traduit par certaines lois de puissance avec des exposants similaires à ceux qui ont été mesurés dans la nature. Ils ont également trouvé une théorie simplifiée du champ moyen qui corrobore le changement de phase du chaos sans échelle. « Il serait intéressant de rechercher et de trouver ce changement de phase entre les phases chaotiques que nous prédisons, que ce soit dans les observations en milieu naturel ou dans les études contrôlées en laboratoire », explique un autre des auteurs de la recherche, mathématicien à l'UCM, qui est également lié à l'Institut Gregorio Millán Barbany de l'UC3M Luis L. Bonilla.

La formation de troupes est l'une des manifestations de ce que l'on appelle la « matière active », composée de sortes d'individus autopropulsés qui forment un tout, expliquent les chercheurs. Il peut s'agir d'un essaim d'insectes, d'un troupeau de moutons, d'une volée d'oiseaux, d'un banc de poissons, mais aussi de bactéries en mouvement, de mélanocytes (les

## MEDIOS DE COMUNICACIÓN

cellules qui distribuent les pigments dans la peau) ou de systèmes artificiels tels que des grains irréguliers ou des graines secouées périodiquement. « Les mécanismes de formation de troupeaux jouent un rôle dans certains de ces systèmes, de sorte que les résultats que nous avons obtenus peuvent être liés à la biologie, à l'étude des cellules et, au-delà, à l'étude des tumeurs et d'autres maladies », ajoute Rafael González Albaladejo

Comment tant d'animaux se déplacent-ils à l'unisson ? Ces chercheurs expliquent que chaque individu ne perçoit que ses voisins et se déplace en conséquence, même s'il n'a aucune perspective sur les mouvements de l'ensemble du troupeau. Et selon qu'ils utilisent la vue, l'ouïe ou les vibrations du fluide dans lequel ils sont immergés, la notion de voisin peut beaucoup changer. Les moutons qui se déplacent ensemble voient et sentent ceux qui les entourent, tandis que les oiseaux d'une volée voient leurs voisins les plus proches, même s'ils sont éloignés les uns des autres. « Se déplacer en conséquence peut signifier qu'ils se déplacent dans la même direction que leurs voisins (comme d'habitude) ou qu'ils adoptent des stratégies différentes en fonction de la situation. Par exemple, si une foule tente de sortir d'une enceinte surpeuplée comportant plusieurs portes, il est parfois avantageux de ne pas suivre les voisins" » expliquent-ils.

Il a fallu environ deux ans à ces mathématiciens pour mener à bien ce travail de recherche. Au départ, des expériences étaient prévues pour expliquer le changement de phase classique entre une multitude d'insectes remplissant un espace à densité constante, qui sont ordonnés en passant une valeur critique du paramètre de contrôle (par exemple en diminuant le bruit). Ils ont ensuite décidé d'ajouter un potentiel harmonique pour confiner l'essaim et explorer ce qui se passe lorsque la force d'attraction entre les individus diminue. « Nous avons découvert de nombreux états périodiques, quasi-périodiques et finalement chaotiques pour un nombre fixe d'insectes que nous avons augmenté. Ce qui est surprenant, c'est la transition entre des états chaotiques dont nous ignorions et supposions l'existence, et nous avons réussi à trouver les bons arguments et les bons tests pour étayer cette existence », explique Ana Carpio, du département d'analyse mathématique et de mathématiques appliquées de l'UCM, une autre des auteures de l'étude, qui précise qu'il reste encore beaucoup à faire sur la base de ce travail. « De la recherche expérimentale de la confirmation de nos prédictions et d'une meilleure adaptation du modèle aux observations expérimentales, aux recherches théoriques et mathématiques qui vont au-delà de nos simulations numériques », conclut-il.

Références bibliographiques: González-Albaladejo, R. Carpio, A. Bonilla, L.L. (2023). Scale-free chaos in the confined Vicsek flocking model. Phys. Rev. E 107, 014209. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.107.014209>

González-Albaladejo, R. Bonilla, L.L. (2023). Mean field theory of chaotic insect swarms. Phys. Rev. E (letter, accepté). arXiv preprint <https://arxiv.org/abs/2305.1408>