

> Nous avons montré qu'il est possible de construire un test du principe copernicien en combinant cette dérive des décalages spectraux à d'autres mesures de distance. Dans les années 1960, les Américains Alan Sandage et George McVittie avaient calculé que cette dérive était très faible, de l'ordre de 10^{-10} en valeur relative en 10 ans pour un objet distant de 5 milliards d'années-lumière. Un tel effet était au-delà de toute mesure possible, ce qui était rassurant, car cela assurait la stabilité des mesures de spectres astrophysiques sur des échelles de temps de plusieurs siècles. Mais avec les développements de la spectrographie à haute résolution, une telle dérive semble aujourd'hui accessible au futur *E-ELT* (*European Extremely Large Telescope*) et son miroir de 39 mètres en construction sur le Cerro Armazones, dans le désert d'Atacama, au Chili.

Presque simultanément, une autre méthode reposant sur l'observation d'amas de galaxies a été proposée (voir l'encadré page ci-contre). Ainsi, le progrès des techniques observationnelles a permis de tirer des informations sur l'Univers «vu d'ailleurs», ce qui est la clé des tests du principe copernicien. Actuellement, nous n'avons que des confirmations indirectes de la validité de l'homogénéité spatiale et il faudra attendre pour la mise en œuvre de ces tests.

L'ISOTROPIE MISE EN DOUTE

Se pose aussi la question de l'isotropie de l'expansion cosmique. L'analyse de la carte des températures du fond diffus cosmologique semble conforter cette hypothèse. Mais jusqu'à quelle précision est-elle valide? Au printemps 2020, en analysant un catalogue de 313 amas de galaxies, et en utilisant une relation phénoménologique entre leur température et leur luminosité, Konstantinos Migkas, de l'université de Bonn, et ses collègues ont annoncé que le taux d'expansion, et donc la constante de Hubble, varierait de plus de 15% selon différentes directions dans l'Univers récent. Ce résultat demande à être confirmé et il faut aussi comprendre pourquoi cette anisotropie n'a pas eu d'impact sur d'autres observables, comme le fond diffus cosmologique.

Le satellite *Euclid* sera encore une fois un outil efficace pour évaluer les écarts à l'isotropie. En effet, comme nous l'avons montré en 2015 avec Cyril Pitrou, de l'institut d'astrophysique de Paris, et Thiago Pereira, de l'université d'État de Londrina, au Brésil, il devrait être possible de mettre en évidence une anisotropie de l'ordre de 1% à partir de l'analyse des distorsions gravitationnelles. D'un point de vue théorique, cette anisotropie, si elle est confirmée, pourrait être apparue tardivement. Elle pourrait être liée à l'accélération de l'expansion et éventuellement à une propriété de l'énergie sombre, ce

qui serait une avancée inestimable dans la compréhension de cette dernière.

Soulignons que dans leur boîte à outils, les cosmologistes ont de nombreux modèles cosmologiques qui ne reposent pas sur l'hypothèse H3: des univers homogènes mais anisotropes (l'expansion n'est pas la même dans toutes les directions) ou hétérogènes (qui peuvent alors avoir un centre). Ces derniers permettent de quantifier les effets d'un écart à l'homogénéité et à l'isotropie et ainsi d'évaluer la pertinence de ce choix.

Soulignons que l'Univers n'est ni homogène ni isotrope de façon évidente. La matière se regroupe dans des galaxies qui s'alignent en amas le long de filaments et qui délimitent de grands espaces vides. Le modèle cosmologique considère ainsi la géométrie de l'Univers moyenné à une certaine échelle, qui n'est pas spécifiée explicitement, et qui est bien plus grande que la distance moyenne entre deux galaxies.

En 2017, avec Pierre Fleury, de l'université autonome de Madrid, et Julien Larena, de l'université du Cap, nous avons soulevé la question difficile de savoir si la géométrie moyenne de l'Univers permet d'interpréter toutes les observations avec la précision requise. En effet, comme la géométrie détermine la propagation de la lumière, il faut démontrer que les déviations à petite échelle entre la géométrie «réelle» et la géométrie moyenne ne sont pas à l'origine de biais dans l'analyse des observations reposant sur des faisceaux lumineux fins (comme c'est le cas pour des objets ponctuels comme des supernovæ, mais pas pour le fond diffus cosmologique).

Enfin, la structure topologique (l'hypothèse H4) a été abondamment discutée depuis plus de trente ans. L'analyse des données du satellite *Planck* montre que l'Univers ne peut pas être plus petit que 96% de la taille de l'univers observable. Mieux, on peut montrer que si sa taille dépasse celle de l'univers observable de 15%, alors on ne peut pas distinguer un Univers très grand, mais fini, d'un Univers infini. Il est d'ailleurs impossible de prouver par l'observation que l'Univers est infini. Seuls des arguments théoriques peuvent éventuellement être utilisés.

La plupart de ces tests seront mis en œuvre dans les années à venir et il sera intéressant d'évaluer la justesse des hypothèses actuelles. Avec les tensions naissantes, ces tests fourniront peut-être des indices, qui serviront de fil d'Ariane providentiel pour mener à une meilleure compréhension de l'origine de l'accélération cosmique et de la nature de la matière noire. Ce fil servira aussi à faire évoluer le modèle du Big Bang ou à le modifier, ou il améliorera son domaine de validité, confortant ainsi certaines de ses conclusions. Cela aussi fait partie d'un modèle vivant. ■

BIBLIOGRAPHIE

C. Pitrou et al., **A new tension in the cosmological model from primordial deuterium?**, *MNRAS*, stab135, 20 janvier 2021.

K. Migkas et al., **Probing cosmic isotropy with a new X-ray galaxy cluster sample through the L_x - T scaling relation**, *Astron. Astrophys.*, vol. 636, A15, 2020.

A. G. Riess et al., **The accuracy of the Hubble constant measurement verified through cepheid amplitudes**, *Astrophys. J. Lett.*, vol. 896(2), L43, 2020.

F. Combes, **Le Big Bang**, Que Sais-je?, 2019.

J.-P. Uzan, **Big Bang. Comprendre l'univers depuis ici et maintenant**, Flammarion, 2018.

SUR LE WEB

Conférence de J.-P. Uzan (TimeWorld 2019), **Peut-on affirmer que l'Univers a 13,8 milliards d'années?**, http://bit.ly/PLS521_Uzan1

Conférence de J.-P. Uzan (SFP, janvier 2020), **Le statut du modèle cosmologique**, http://bit.ly/PLS521_Uzan2

La stupéfiante attaque de la guêpe émeraude

Kenneth Catania





Comment la guêpe émeraude transforme-t-elle une blatte en garde-manger vivant pour sa progéniture ? Bien que déjà beaucoup étudié, le mode opératoire de cet insecte réservait encore des surprises.

La guêpe émeraude utilise une blatte américaine qu'elle réduit à l'état de zombie afin d'y déposer son œuf, la future larve ayant alors de quoi se nourrir et se développer.

L'ESSENTIEL

> Grâce à deux piqûres bien précises dans le système nerveux, la guêpe émeraude paralyse une blatte américaine et la transforme en zombie, avant de pondre sur elle un œuf.

> De cet œuf éclosa une larve qui dévorera la blatte de l'intérieur.

> L'auteur a récemment découvert qu'afin de bien placer son œuf, la guêpe inflige à la blatte des piqûres supplémentaires.

> Il a aussi mis en évidence le comportement de défense de la blatte.

L'AUTEUR



KENNETH CATANIA
professeur de sciences
biologiques à l'université
Vanderbilt, à Nashville,
aux États-Unis

« Vous n'avez pas encore compris à qui vous avez affaire ? À un parfait organisme ! Et sa perfection structurale n'a d'égal que son hostilité [...]. J'admire sa pureté. Un survivant qui n'est pas souillé par la conscience, le remords ou les illusions de moralité. » Ainsi l'androïde Ash décrit-il le monstre extraterrestre dans le film *Alien* (1979) du réalisateur Ridley Scott. Cette superproduction a fourni matière à cauchemars à toute une génération de passionnés de science-fiction : une créature extraterrestre s'accroche au visage d'un membre de l'équipage du vaisseau spatial *Nostromo* et implante un embryon qui, plus tard, sortira de la poitrine de la victime en la faisant éclater. Techniquement parlant, l'extraterrestre est un parasitoïde, un organisme qui, contrairement à la plupart des parasites, finit par tuer son hôte. Ceux qui ont vu le film n'oublieront jamais comment il se reproduit...

Récemment, j'en suis arrivé à partager certains des sentiments d'Ash vis-à-vis des parasitoïdes éclateurs de poitrine. Mais je ne parle pas des monstres extraterrestres. Je fais allusion à ce qui semble ici, sur Terre, s'en rapprocher le plus : la guêpe émeraude (*Ampulex compressa*), qui transforme la blatte américaine (*Periplaneta americana*) en zombie, voire pire.

Étant neurobiologiste, je donne chaque automne un cours sur les cerveaux et le comportement des animaux à l'université Vanderbilt. À Halloween, j'aime bien présenter de la biologie un peu terrifiante, ce qui permet aux étudiants de mémoriser facilement quelques éléments de neurosciences. Quand j'ai pris comme sujet de cours la guêpe émeraude, cette espèce m'a tellement intrigué que j'ai fait venir quelques guêpes dans mon laboratoire pour observer leur comportement par moi-même. J'ai commencé par prendre des photos et faire quelques vidéos pour mes étudiants, mais je me suis vite retrouvé à effectuer des recherches sur cet étonnant insecte.

Cette jolie guêpe était déjà bien connue pour être un parasitoïde. Mais mes expériences, publiées en 2018 et 2020, m'ont appris qu'elle est encore plus remarquable qu'on ne l'avait pensé ; et que le cafard déploie lui-même des astuces pour se défendre.

UN CONTRÔLE D'UNE PRÉCISION... NEUROCHIRURGICALE !

Avant de vous dire ce que j'ai découvert et qui m'a rempli d'admiration pour cet insecte, je dois vous expliquer comment celui-ci est devenu célèbre. Pour se reproduire, la guêpe femelle a besoin de trouver un hôte qui nourrira sa progéniture. Comme de nombreuses espèces de parasitoïdes, la guêpe émeraude est une spécialiste qui n'a qu'un seul hôte, en l'occurrence la blatte américaine. Cette cible est l'une des raisons pour lesquelles la guêpe émeraude est si populaire, même parmi ceux qui ont la phobie des insectes : comme on dit, « l'ennemi de mon ennemi est mon ami ».

Mais chez les biologistes, la guêpe émeraude suscite le respect pour sa remarquable stratégie d'attaque. Dans les années 2000, Frédéric Libersat, de l'université Ben-Gourion, en Israël, et ses collègues – dont le spécialiste des venins Michael Adams, de l'université de Californie à Riverside – ont mené une série d'élégantes études qui racontent une histoire digne de la science-fiction.

Ici, sur Terre, la guêpe émeraude est ce qui se rapproche le plus du monstre d'Alien