

LES PEINTURES DE HIMA DATÉES

Les proportions de manganèse et de fer dans le vernis naturel qui se dépose sur les rochers indiquent l'âge des surfaces. C'est ce qu'a montré l'équipe de Meinrat Andreae, de l'institut Max-Planck de chimie de Mayence, en Allemagne, en analysant la composition de cette microcouche. Les chercheurs ont mis au point cette nouvelle technique de datation afin d'estimer l'âge des pétroglyphes de Bir Hima, dans la province de Najran, en Arabie saoudite. Depuis longtemps, les âges de ces peintures sur roches montrant des scènes de chasse, des danses rituelles et de curieuses formes anthropomorphes font l'objet d'une controverse entre spécialistes. La méthode des chercheurs allemands a conduit à placer ces œuvres « tout au long de l'Holocène, la plus ancienne datant de 7000 ans et la plus récente de quelques siècles seulement », explique Meinrat Andreae. ■

F. S.

D. Macholdt et al., *The Holocene*, en ligne le 19 mai 2019

PHYSIQUE

DES GOUTTES DE SABLE

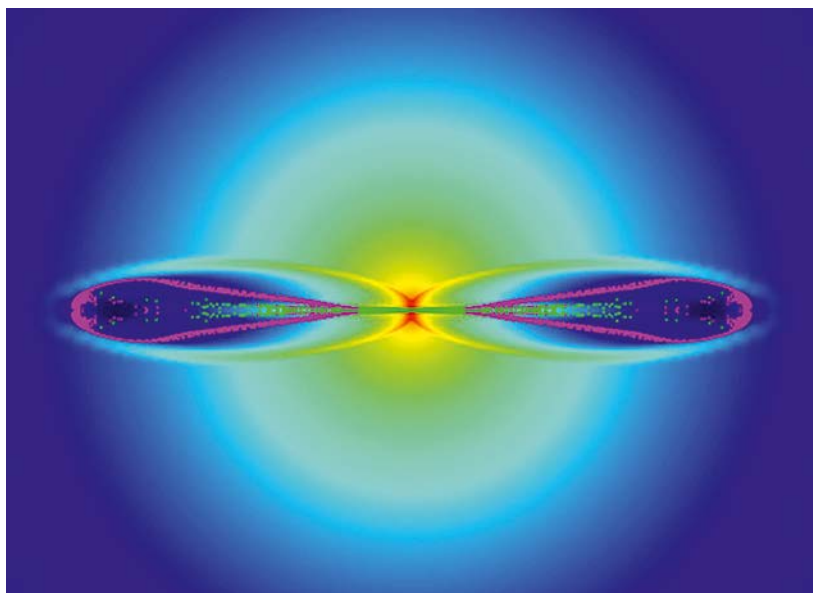
L'instabilité dite de Rayleigh-Taylor survient quand un fluide peu dense se trouve sous un fluide plus dense. Le premier tend à former des filaments et des gouttes qui s'élèvent dans le second. Comme les forces en jeu sont la poussée d'Archimède et la tension de surface, il est surprenant d'observer un phénomène similaire dans un milieu granulaire. C'est pourtant ce qu'ont mis en évidence Christopher Boyce, de l'université Columbia, et son équipe.

Les chercheurs ont placé une couche de grains de sable au-dessus d'une autre moins dense. En agitant verticalement le système et en soufflant de l'air dans le milieu de bas en haut, ils ont reproduit le comportement d'instabilité des fluides. Des « gouttes » granulaires se formaient au bout de longs filaments. Explication : l'air ne circulant pas de la même façon entre grains de tailles différentes, il en résulte une force d'entraînement vers le haut, qui maintient les grains légers ensemble et conduit à la formation des gouttes. ■

S. B.

C. P. McLaren et al., *PNAS*, vol. 116 (19), pp. 9263-9268, 2019

EXPLOSION EN JETS DES PREMIÈRES ÉTOILES ?



Dans cette simulation de l'explosion d'une étoile de première génération, deux jets expulsent de grandes quantités de zinc (points verts).

Plusieurs centaines de millions d'années après le Big Bang, les premières étoiles de l'Univers se sont allumées. Gigantesques, elles ont eu une brève durée de vie et ont fini dans de spectaculaires explosions, des supernovæ. Si ces étoiles ont produit beaucoup d'éléments plus lourds que l'hydrogène et l'hélium dans leur cœur, on pensait que, lors de la supernova, une grande part de ces éléments était restée piégée dans le cœur qui s'était effondré sur lui-même et qui était devenu une étoile à neutrons ou un trou noir. Mais comme ces étoiles ont toutes disparu, les conditions précises de leur fin restent mal connues. Rana Ezzeddine, du MIT (institut de technologie du Massachusetts), aux États-Unis, et ses collègues viennent de bouleverser ce qu'on croyait savoir de ces premières supernovæ. Elles n'auraient pas pris la forme d'explosions symétriques et sphériques, mais auraient propulsé d'immenses jets de matière dans l'espace interstellaire, qui auraient enrichi très tôt celui-ci en éléments lourds.

Pour arriver à cette conclusion, les chercheurs se sont d'abord intéressés à HE 1327-2326, une étoile de deuxième génération, très ancienne et pauvre en éléments lourds, ce qu'on attend d'un astre né des restes des étoiles de la première génération selon le scénario classique. En analysant plus précisément sa composition, les chercheurs ont montré que cette étoile présente une abondance en zinc anormalement importante. Ils ont suggéré que l'explosion en fin de vie de certaines étoiles de la première génération aurait produit des jets de matière dix fois plus puissants que les supernovæ classiques. Ce phénomène aurait alors disséminé les éléments produits au cœur de l'astre, tels que le zinc. Les chercheurs ont confirmé cette hypothèse grâce à des simulations numériques. Reste à savoir comment de tels jets peuvent apparaître lors d'une explosion de supernova. ■

LUCAS GIERCZAK

R. Ezzeddine et al., *The Astrophysical Journal*, vol. 876(2), 2019

MATHÉMATIQUES

L'HYPOTHÈSE DE RIEMANN VACILLE MAIS NE TOMBE PAS

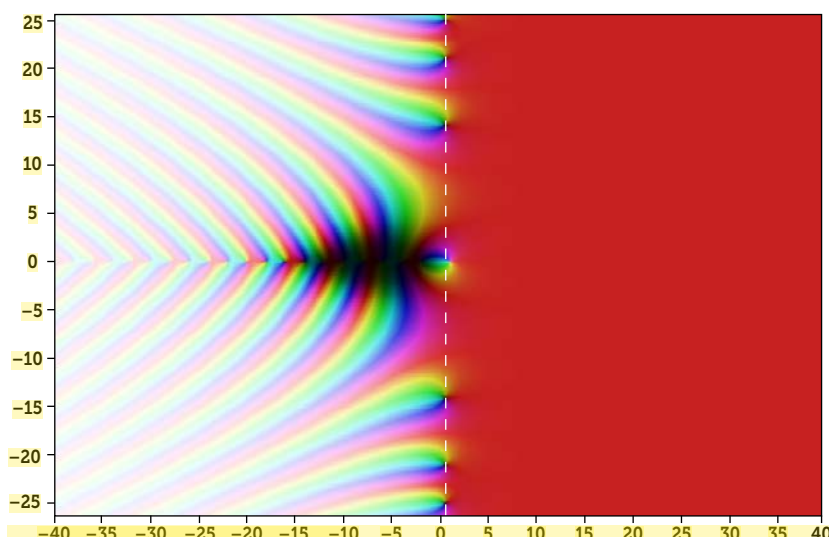
Pour tenter de démontrer cette célèbre conjecture, des mathématiciens ont réexploré une piste délaissée, car jugée trop difficile, et ont obtenu un résultat important.

L'hypothèse de Riemann est l'un des problèmes ouverts les plus importants en mathématiques. Si de nombreux indices suggèrent que cette conjecture, formulée en 1859 par l'Allemand Bernhard Riemann, est vraie, cela n'a toujours pas été démontré. De nombreuses pistes ont été explorées, sans aboutir. Mais en retravaillant sur une approche abandonnée, Ken Ono, de l'université Emory, à Atlanta, aux États-Unis, Don Zagier, de l'institut Max-Planck de mathématiques, à Bonn, en Allemagne, et deux collègues ont réalisé une avancée intéressante.

Le point de départ de l'hypothèse de Riemann est une fonction d'une variable s définie comme la somme infinie des inverses des entiers positifs où chaque terme est élevé à la puissance s . Cette fonction se prolonge aux valeurs complexes de s , c'est-à-dire aux nombres de la forme $s=a+ib$, a et b étant des nombres réels et i le symbole vérifiant $i^2=-1$ (a est la partie «réelle» de s et b sa partie «imaginaire»). La fonction obtenue, notée $\zeta(s)$, est la «fonction zêta de Riemann».

Cette fonction a un intérêt majeur en théorie des nombres. Elle est reliée à la façon dont sont répartis les nombres premiers, ces entiers positifs n'ayant pas d'autres diviseurs que 1 et eux-mêmes, comme 2, 3, 5, 7, 11, 13... La fonction zêta de Riemann, et notamment la répartition de ses zéros, c'est-à-dire les valeurs de s pour lesquelles $\zeta(s)=0$, offrirait une bonne estimation de cette distribution si l'hypothèse de Riemann est vraie. Celle-ci affirme qu'à l'exception des zéros dits triviaux (les nombres pairs négatifs: -2, -4, -6, etc.), les zéros de la fonction zêta ont tous pour partie réelle $a=1/2$.

Parmi les pistes explorées pour vérifier cette conjecture, le mathématicien hongrois George Pólya a montré en 1927 que l'hypothèse de Riemann est équivalente à un autre problème, celui de prouver l'hyperbolicité de certains polynômes, dits de Jensen (du nom du mathématicien danois Johan Jensen). Un polynôme à coefficients réels est dit hyperbolique si ses zéros sont tous réels. Il faut donc prouver cette propriété pour les polynômes de Jensen. Ceux-ci sont définis notamment par deux paramètres: d , leur degré, et n , leur



Les valeurs de la fonction zêta de Riemann sont ici représentées dans le plan complexe. Ses zéros non triviaux se trouvent-ils tous sur la droite verticale (en pointillé blanc) coupant l'axe horizontal en $1/2$?

10¹³

ZÉROS NON TRIVIAUX DE LA FONCTION ZÊTA DE RIEMANN ONT ÉTÉ CALCULÉS EN 2004, ET LEUR PARTIE RÉELLE EST BIEN ÉGALE À 1/2. MAIS IL SUFFIRAIT QUE L'ON TROUVE UN SEUL ZÉRO NON TRIVIAL DE PARTIE RÉELLE DIFFÉRENTE POUR QUE L'HYPOTHÈSE DE RIEMANN SOIT INFIRMÉE.

«décalage». Le problème est qu'il existe une infinité de ces polynômes. Des mathématiciens ont démontré des cas particuliers de l'hyperbolicité des polynômes de Jensen, mais cette approche était considérée comme trop difficile pour être généralisée afin de prouver l'hypothèse de Riemann.

S'ils n'ont pas démontré cette propriété pour tous les polynômes de Jensen, Ken Ono et ses collègues l'ont confirmée pour une vaste classe de ces objets. Pour y parvenir, ils ont considéré d'autres polynômes, dits d'Hermite (qui permettent notamment d'exprimer les fonctions d'onde de l'oscillateur harmonique, en physique quantique). Les chercheurs ont montré que les polynômes d'Hermite donnent une bonne approximation des polynômes de Jensen quand le décalage n est assez grand et pour toute valeur de d . Or les polynômes d'Hermite étant hyperboliques, les mathématiciens ont montré ainsi l'hyperbolicité d'une large classe de polynômes de Jensen. C'est un progrès notable, mais il reste à voir comment passer de l'étape «pour tout n assez grand» à «pour tout n ...» L'hypothèse de Riemann ne semble pas près de céder! ■

S. B.

M. Griffin et al., PNAS, en ligne le 21 mai 2019