

Capture en plein vol

Les grandes noctules, des chauves-souris vivant en Europe, volant jusqu'à 500 mètres d'altitude, se nourrissent exclusivement d'insectes. Du moins le croyait-on. Une équipe espagnole a montré qu'elles apprécieraient aussi les petits oiseaux migrateurs nocturnes. L'analyse de leurs excréments a révélé de nombreux restes d'oiseaux passériformes, immense groupe de petits oiseaux auxquels appartiennent, notamment les moineaux, et qui survolent par millions l'Espagne durant leur migration. Les noctules ont une envergure qui peut atteindre 60 centimètres, elles ne pèsent pas plus de 50 grammes : ces conditions semblent leur permettre de capturer en vol les oiseaux dont elles se nourrissent. On croyait la capture des proies en vol l'apanage de certains rapaces, mais les noctules semblent l'utiliser.

Un anticorps contre le VIH

Un anticorps humain, nommé b₁₂, inhiberait l'activité du virus responsable du SIDA. Cet anticorps a été découvert dans la moelle osseuse d'un homme de 31 ans, séropositif, mais qui ne manifeste aucun symptôme de la maladie depuis six ans. Cet anticorps se lierait à un récepteur de surface du virus et l'empêcherait d'interagir avec ses cellules cibles.

Échec et maths

Apprendre en jouant n'est pas l'apanage des jeunes enfants. Dès la prochaine rentrée, les étudiants de l'Université d'Aberdeen, en Grande-Bretagne, vont pouvoir suivre des cours de doctorat en science des échecs. Pendant leur thèse, les étudiants, tous joueurs d'échecs, vont tenter de créer de nouveaux logiciels de jeu d'échecs, et de transposer les modes de raisonnement des joueurs à des programmes d'intelligence artificielle.

Trio en symbiose

Drôle de cohabitation dans les eaux bleues autour de l'île d'Elbe ! Les biologistes de l'Institut Max Planck, à Brême, en Allemagne, ont découvert des organismes qui vivent en symbiose, non pas à deux, mais à trois : un ver et deux bactéries. Le ver abrite les deux bactéries, qui, en échange, nourrissent leur

hôte dépourvu de tube digestif. La première transforme les sulfates de l'eau de mer en sulfures, que la seconde oxyde. Une première !

Les visions de la Pythie

On aurait découvert l'origine des gaz qu'inhalait la Pythie pour rendre les oracles.

En 480 avant notre ère, les Athéniens, en guerre contre les Perses, s'enquerraient auprès de l'oracle de Delphes de la conduite à adopter devant l'offensive ennemie, mais ne reçoivent en réponse que des promesses de malheur : « À la flamme furieuse, Arès (le dieu de la guerre) livrera bien des temples, où les images des immortels se dressent aujourd'hui couvertes de sueur, tremblantes d'effroi, et du haut des toits ruisselle un sang noir, présage du désastre fatal. » On venait de tout le pays consulter Apollon, le fils de Zeus, par l'intermédiaire de l'oracle de Delphes. L'écrivain romain Plutarque a rapporté comment la cérémonie de l'oracle se déroulait : la Pythie, celle par qui s'exprimaient les dieux, se retirait dans une pièce située sous le temple d'Apollon où, en inhalant des vapeurs, elle entraînait en transe. Elle rendait ensuite l'oracle en des propos incompréhensibles, que seuls des prêtres savaient interpréter. Selon Plutarque, les gaz inhalés par la Pythie provenaient d'une fissure dans le sol ou d'une source d'eau. Cependant, l'excavation du temple à la fin du XIX^e siècle ne révéla ni fissure, ni trace de source. Une équipe constituée d'un géologue, d'un géochimiste, d'un archéologue et d'un médecin, propose aujourd'hui, après analyse de la géologie du sol, que celui-ci est suffisamment perméable pour laisser passer des gaz. En outre, ils ont découvert dans les eaux qui s'écoulent à proximité du site des traces d'éthylène qu'on sait responsable d'hallucinations. La diffusion de ce gaz par les roches vers l'intérieur du temple aurait été responsable des transes de la Pythie.

Delphes est localisée le long du golfe de Corinthe, dans une zone de forte activité sismique. Le golfe est le fruit de la tectonique des plaques qui repousse la partie Nord de la Grèce, l'Attique, de la partie Sud, le Péloponnèse. De nombreuses failles, parallèles au golfe, découpent le sol de la région. L'une d'elles, la faille de Delphes, passe précisément sous le sanctuaire ; de larges zones en sont visibles en surface. Jelle Deboer et ses collègues du Département des sciences de la Terre et de l'environnement de l'Université de Midd-



Zeus consultant l'oracle de Delphes.

letown ont découvert une autre faille, la « faille de Kerna », perpendiculaire à la faille de Delphes, qui passe aussi sous le temple d'Apollon. À cause de la rencontre des deux failles, le sol y est riche en fissures, où certains gaz, vaporisés par la chaleur, pourraient remonter en surface. On ne connaît pas le lieu exact de l'intersection des deux failles, mais, par extrapolation, elle semble située à la verticale du temple.

Y a-t-il des gaz dans le sol de Delphes susceptibles de donner des hallucinations ? Les gaz viendraient directement des roches ou seraient véhiculés sous forme dissoute par une source d'eau. On connaît aujourd'hui à proximité du temple deux sources, mais des recherches géologiques et archéologiques montrent qu'il devait en exister, dans l'Antiquité, au moins huit : à plusieurs endroits du sanctuaire, on trouve des travertins, des dépôts de minéraux laissés par une source. L'équipe a analysé l'eau qui s'écoule en contrebas du temple, ainsi que des échantillons des travertins, qui portaient peut-être la trace des gaz dissous dans les anciennes sources. Ils ont trouvé de l'éthylène dans la source et, dans les travertins, des traces de méthane et d'éthane. Le méthane et l'éthane sont faiblement toxiques, mais en s'accumulant dans la pièce où se retirait la Pythie, ils pouvaient produire des hallucinations. Quant à l'éthylène, c'est une molécule anciennement utilisée comme anesthésique. À faible dose, elle donne une légère sensation d'euphorie. À doses plus élevées, elle provoque délire et inconscience. Ces constatations concordent avec ce que Plutarque relate sur les vapeurs prophétiques : elles avaient une odeur sucrée et elles ont entraîné la mort d'une Pythie qui en avait trop inhalé.

Trous noirs et sursauts gamma

Les sursauts gamma sont les explosions les plus violentes de l'Univers. La formation de trous noirs dotés d'un champ électromagnétique expliquerait leur origine.

Les sursauts gamma sont de brèves émissions de rayonnements gamma et X, découvertes accidentellement en 1969 par des satellites militaires américains. Ils sont souvent suivis d'une émission tardive de rayons X et de lumière visible qui peut durer de quelques jours à quelques mois. Étant donné leur fréquence et leur répartition uniforme sur le fond du ciel, les astronomes pensent qu'il se produit chaque jour, une explosion énorme quelque part dans tout le volume de l'Univers observable. Les sursauts gamma semblent être les images de cataclysmes assez puissants pour être détectables sur des distances de plusieurs milliards d'années-lumière, ce qui équivaut à la production, pendant les quelques secondes du sursaut, d'une énergie comparable à celle qui est rayonnée par toutes les étoiles contenues dans toutes les galaxies de l'Univers observable ! Nous avons élaboré un modèle selon lequel ces événements hors du commun signaleraient la naissance de trous noirs dotés d'un champ électromagnétique.

Nous avons étudié l'effondrement d'une étoile en rotation dotée d'un champ électromagnétique. Beaucoup d'étoiles, le Soleil, par exemple, sont entourées d'un champ magnétique produit par des courants électriques dus à la circulation de la matière stellaire dans leurs profondeurs. Lorsque les couches internes d'une étoile massive se contractent, les lignes de force de son champ électromagnétique suivent le mouvement de la surface à laquelle elles sont ancrées et se resserrent rapidement. En d'autres termes, le champ est « concentré ». Lorsque l'étoile forme un trou noir, cette amplification est énorme, parce que le diamètre de la sphère de matière à laquelle le champ est attaché passe de quelques dizaines de millions de kilomètres à environ un kilomètre.

Or, en 1935, Werner Heisenberg montra qu'au-delà d'une valeur critique, un champ électromagnétique doit provoquer un phénomène qu'il nomma polarisation du vide. En effet, en mécanique quantique, on montre que le vide est, en permanence, rempli de paires de particules et d'antiparticules qui surgissent spontanément, avant de s'annihiler mutuellement. On qualifie ces particules de « virtuelles » parce qu'elles disparaissent presque immédiatement après leur formation. Cependant, en présence d'un champ électromagnétique intense, les paires d'électrons (de charge négative) et d'antiélectrons (de charge positive) sont durablement séparées par l'action du champ et ne s'annihilent pas immédiatement. De virtuelles, ces particules deviennent réelles. Ainsi, lorsqu'un trou noir doté d'un champ électromagnétique se forme, il est entouré d'une sphère, nommée dyadosphère (du grec *duas*, qui signifie paire) à l'intérieur de laquelle, le champ électromagnétique est capable de créer une énorme quantité d'électrons et d'antiélectrons en quelques cent milliardièmes de nanoseconde.

En 1975, l'un d'entre nous (Remo Ruffini) et Thibault Damour, de l'Observatoire de Paris, ont démontré que ce phénomène est le plus efficace pour extraire de l'énergie d'un trou noir. Contrairement aux étoiles, dont seuls quelques pour cent de la masse sont convertis en énergie au cours de leurs dix milliards d'années d'existence, la dyadosphère entou-

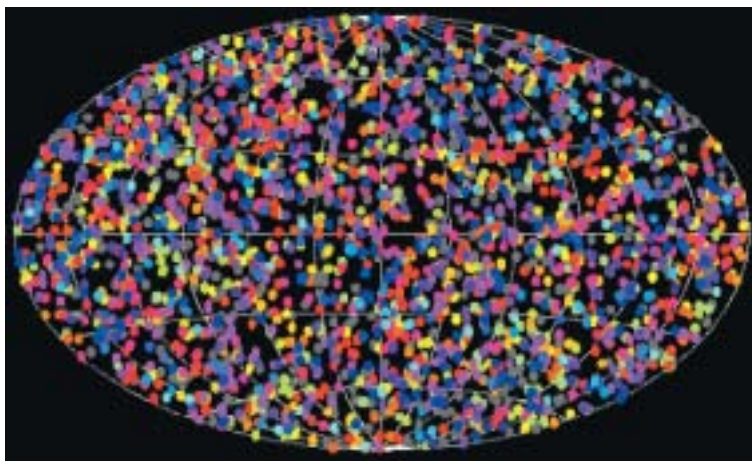
rant un trou noir doté d'un champ électromagnétique peut, en quelques secondes, convertir en énergie jusqu'à 50 pour cent de la masse de l'étoile qui lui a donné naissance.

La dyadosphère entre ensuite en expansion sous la forme d'une coquille de plasma formé d'électrons, d'antiélectrons et de photons gamma (produits par les collisions entre particules et antiparticules) que nous avons nommés impulsions électromagnétiques en paires. Expulsée à des vitesses proches de celle de la lumière, cette impulsion entre ensuite en collision avec les couches supérieures de l'étoile, essentiellement constituées d'hydrogène, qui n'avaient pas été absorbées par le trou noir. Ces restes enrichissent l'impulsion, en électrons, protons et neutrons, jusqu'à ce qu'elle arrive dans une région où le plasma est assez dilué pour être transparent : les photons gamma sont libérés brusquement et produisent le sursaut proprement dit. Par la suite, les protons, et autres particules lourdes accélérées par l'impulsion, viennent frapper le gaz raréfié du milieu interstellaire et provoquent un gigantesque feu d'artifice en rayons X, en lumière visible et en rayonnement radio responsable de l'émission tardive.

Nous avons comparé ce modèle avec les données fournies par trois observatoires spatiaux d'astronomie (BATSE, X-*Chandra*, et Rossi-XTE tous trois américains) pour un sursaut gamma intervenu le 12 décembre 1999. Les calculs s'accordent parfaitement aux observations.

Contrairement à la plupart des modèles proposés jusqu'ici pour expliquer les sursauts gamma, le nôtre ne dépend que de deux paramètres libres : l'énergie de la dyadosphère et la densité de matière dans les couches de l'étoile qui restent à l'extérieur du trou noir. Tous les autres (température, vitesse, densité du plasma, etc.) découlent directement de la théorie et sont parfaitement connus. Il est remarquable que ces prévisions soient valables aussi bien pour le sursaut proprement dit (qui se déroule sur des durées de l'ordre de la milliseconde et sur des distances de l'ordre du millier de kilomètres) que pour l'émission tardive (qui dure quelques mois et se produit à l'échelle de l'année-lumière). De surcroît, ce modèle explique pourquoi le satellite *Chandra* a détecté une raie spectrale du fer dans l'émission retardée de certains sursauts : elle serait produite par le fer contenu dans une étoile voisine lors de son explosion en supernova sous l'effet du choc avec le flash gamma. Il s'agirait là d'un nouveau mécanisme de formation des supernovae.

Remo RUFFINI, Carlo BIANCO, Federico FRASCHETTI, She-Sheng XUE, Université La Sapienza, Rome – Pascal CHARDONNET, IN2P3



La répartition des sursauts gamma (d'intensités différentes) sur le fond du ciel est uniforme d'après cette carte établie par le satellite BATSE. Les astronomes en déduisent qu'ils sont répartis de façon homogène dans l'Univers observable. Les sursauts sont les images de cataclysmes détectables à des milliards d'années-lumière.