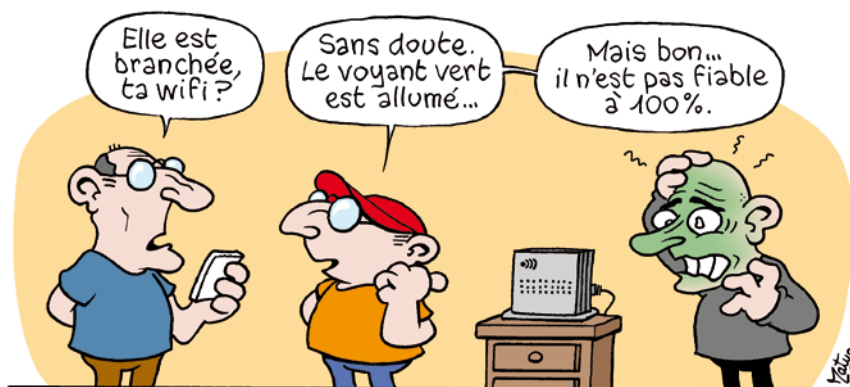




LA CHRONIQUE DE
GÉRALD BRONNER

DES ALERTES EMPOISONNÉES

Les alarmes sur des sujets de santé publique ont parfois un effet nocebo, comme l'illustre notamment l'affaire de l'exposition aux ondes électromagnétiques.



En 2009, certains habitants de la ville de Saint-Cloud, dans la région parisienne, ont commencé à ressentir de curieux symptômes : maux de tête, saignements de nez, sensations étranges comme celle d'avoir un goût métallique dans la bouche... Pour ces riverains, la cause était entendue, il s'agissait de l'effet nocif de l'installation récente de trois antennes-relais.

L'affaire leur paraissait d'autant plus grave que ces antennes avaient été implantées non loin d'une maison de retraite et d'une  cole maternelle. Le collectif qui alerta toute la ville envisagea de déposer une plainte et, bientôt, les médias s'en mêlèrent pour dénoncer un scandale sanitaire et le calvaire de ces riverains tentant sans succès d'utiliser des filtres de protection contre les ondes.

Le problème est que, après le grand bruit suscité par cette affaire, on s'est rendu compte que les baies électroniques du traitement du signal n'étaient pas encore installées et que le raccordement au réseau électrique n'avait pas encore eu

lieu. Bref, ces antennes étaient inactives et n'émettaient aucune onde ! Ce qui s'était produit à Saint-Cloud, c'était une épidémie de symptômes ressentis. Cela ne signifie pas que les individus ne souffraient pas réellement, mais ils souffraient d'avoir endossé des récits alarmistes et non de l'effet des ondes.

Pour psychosomatique qu'elle soit, cette souffrance est bien réelle, comme l'a

**Les individus souffraient
d'avoir endossé
des récits alarmistes
et non de l'effet des ondes**

montré une étude par IRM fonctionnelle réalisée par des neuroscientifiques allemands (M. Landgrebe *et al.*, *Neuroimage*, vol. 41(4), pp. 1336-1344, 2008) : les personnes se déclarant sensibles aux ondes réagissent notablement plus que les autres à une exposition fictive, par une

modification spécifique de l'activité du cortex cingulaire antérieur et du cortex insulaire. En d'autres termes, le fait d'avoir endossé le récit d'une hypersensibilité à la présence d'ondes stimule ce que les spécialistes nomment une « neuromatrice de la douleur ».

De la même façon, des psychologues de l'université de Mayence et de celle de Louvain ont montré tout récemment que le fait d'être exposé à un reportage télévisé sur les « effets néfastes » des champs électromagnétiques sur la santé provoquait non seulement un sentiment d'anxiété, mais aussi une augmentation de la perception déclarée d'une stimulation wifi fictive (A.-K. Br scher *et al.*, *Environmental Research*, vol. 156, pp. 265-271, 2017) !

Autrement dit, les récits anxiogènes qui se diffusent ne sont pas toujours sans effet et, dans ce domaine, l'expression « mieux vaut prévenir que guérir » n'est pas aussi sage qu'il pourrait y paraître. En effet, prévenir peut parfois rendre malade ou plutôt donner le sentiment de l'être. Les alarmes sur des sujets de santé publique sont parfois utiles, mais il arrive aussi qu'elles contribuent incons quemment à l'épidémie de symptômes ressentis à tort.

C'est ce que montrent d'une autre façon des chercheurs des universités de Sydney et de Wollongong dans une étude publiée en 2013 (S. Chapman *et al.*, *PLoS One*, vol. 8, e76584) et qui met en évidence un lien entre la répartition spatiotemporelle des plaintes de santé et l'activité de groupes d'opposition à des champs d'éoliennes. Ces groupes contribuent à la diffusion de propositions narratives favorisant les effets nocebo (l'équivalent négatif du célèbre effet placebo).

Certaines alertes peuvent donc être en quelque sorte empoisonnées : elles ne sont pas sans conséquence, du moins au regard du critère de bien-être que l'OMS intègre désormais dans sa définition même de l'état de santé. Certains individus souffrent bien, mais peut-être pas en raison de la cause qu'ils imaginent : on peut être malade de croyances. ■

GÉRALD BRONNER est professeur de sociologie à l'université Paris-Diderot.

Les SCIENCES dans la CITÉ

Yves Gingras

**SOCIOLOGIE
DES SCIENCES**

*Que
sais-je?*



Suivez-nous
sur les réseaux sociaux



quesaisje.com

L'ESSENTIEL

> Un bref et étrange signal radio a été détecté en 2007 dans les données de l'observatoire Parkes, en Australie.

> Pendant quelques années, les astronomes ont douté de la provenance cosmique de ce signal avant d'en observer d'autres du même type.

> Certains de ces « sursauts radio rapides » sont répétitifs et proviennent donc d'une même source. Les autres semblent être des événements uniques.

> L'origine des sursauts reste à élucider. Diverses hypothèses ont été émises : étoiles compactes, supernovæ, cordes cosmiques...

LES AUTEURS



DUNCAN LORIMER
professeur de physique
et d'astronomie au Centre
des ondes gravitationnelles
et de cosmologie de l'université
de Virginie-Occidentale



MAURA McLAUGHLIN
astronome à l'université
de Virginie-Occidentale,
aux États-Unis

D'où viennent les sursauts radio rapides?

Découverts il y a tout juste dix ans, les sursauts radio rapides sont émis par des phénomènes cosmiques très puissants et lointains. Quelle est leur origine? On l'ignore encore, mais des observations récentes nous informent sur l'environnement où ils se sont produits.

Début 2007, David Narkevic, un de nos étudiants à l'université de Virginie-Occidentale, est venu nous voir pour parler de la tâche que nous lui avions confiée. Il devait analyser des données d'archives issues d'observations des nuages de Magellan, de petites galaxies satellites de la Voie lactée situées à quelque 200 000 années-lumière de la Terre. Avec nonchalance, il nous a simplement dit: «J'ai trouvé quelque chose qui a l'air assez intéressant.» Il s'agissait d'une courbe montrant un signal 100 fois plus fort que le bruit de fond produit par l'électronique du télescope. À première vue, il semblait que David avait identifié juste ce que nous espérions qu'il trouve: un pulsar, un genre de petite étoile très brillante.

Ces astres très denses et au champ magnétique intense émettent un rayonnement sous la forme de faisceaux qui, parce que ces étoiles tournent sur elles-mêmes, balaient l'espace à la manière d'un phare. Cette émission nous

parvient donc sous la forme d'impulsions. Les astronomes connaissaient à l'époque près de 2 000 pulsars, et nous participions à un projet monté pour en découvrir d'autres particulièrement lointains et brillants. Pour cette recherche, nous utilisions un programme, développé par l'une de nous (Maura McLaughlin) et son directeur de thèse, qui traquait des impulsions isolées dans les données des radiotélescopes.

Dans le traitement des données, le programme prenait en compte l'effet dit de dispersion interstellaire, lié à la propagation des ondes radio dans l'espace: quand ces ondes rencontrent des électrons libres dans le milieu interstellaire, elles s'étalent en fonction des fréquences qui les composent. Les électrons libres agissent comme un plasma au travers duquel les ondes radio se propagent d'autant plus vite (et atteignent d'autant plus tôt le télescope) que leur fréquence est élevée. Plus une source est lointaine, plus ses ondes radio rencontrent d'électrons au cours de leur traversée du cosmos, et donc plus grand sera le >



C'est dans les données de l'observatoire de Parkes, un radiotélescope situé en Australie, qu'on a découvert le premier sursaut radio rapide, une bouffée très brève d'ondes radio provenant de l'Univers lointain.

► décalage entre les temps d'arrivée, sur Terre, des ondes des fréquences hautes et basses.

Comme nous ignorions à quelle distance les pulsars que nous cherchions pouvaient se trouver, le programme scrutait les données à la recherche de signaux ayant divers degrés de dispersion (on parle de mesure de dispersion), afin d'être sûrs de détecter des pulsars sur tout un éventail de distances possibles.

Au moment de sa découverte, David Narkevic analysait des observations effectuées cinq ans auparavant au radiotélescope de Parkes, en Australie. Cet instrument est capable de réaliser des relevés rapides de vastes régions en observant simultanément 13 zones du ciel, appelées lobes. Notre étudiant inspectait visuellement les signaux que le programme isolait afin d'éliminer 99%, ou plus, d'entre eux qui étaient du bruit ou des artefacts.

UN MESSAGE VENANT DE LOIN

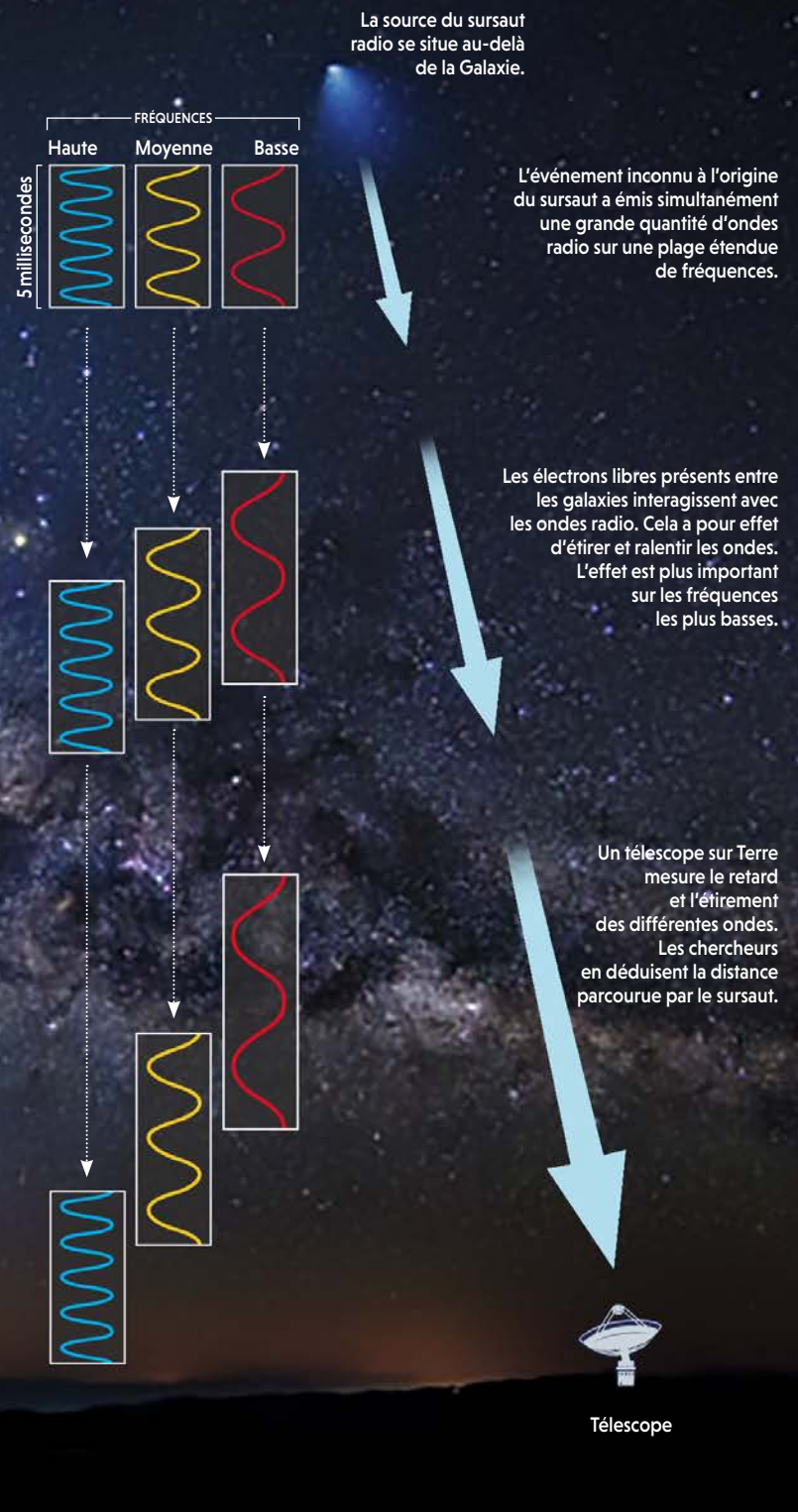
Le signal que David Narkevic avait trouvé était très curieux non seulement du fait de son intensité, mais aussi du fait qu'il provenait d'une région du ciel quelques degrés au sud du Petit nuage de Magellan, où nous ne nous attendions pas à observer de pulsars associés à cette galaxie naine. Plus étonnant, le signal présentait une mesure de dispersion très élevée, plusieurs fois supérieure à celle attendue pour un objet de la Voie lactée, et encore 50% supérieure à la valeur attendue pour un objet appartenant au Petit nuage de Magellan. Cela suggérait que la source était distante d'environ 3 milliards d'années-lumière, bien au-delà des frontières du Groupe local, l'amas de galaxies dont fait partie la Voie lactée.

En plus de venir de très loin, le signal était de courte durée, ce qui indiquait (la vitesse de la lumière étant finie) qu'il provenait d'une source dont le diamètre ne mesurait pas plus de 10 millisecondes-lumière, soit environ 3000 kilomètres, ce qui est beaucoup plus petit que le diamètre du Soleil (1,4 million de kilomètres). Cette contrainte sur la taille ne suffisait pas à éliminer l'hypothèse d'un pulsar, mais la quantité d'énergie émise par cette source devait être colossale : supérieure à celle que le Soleil émet en un mois et plus de 1 milliard de fois supérieure au plus brillant des pulsars.

Quel type d'objet pouvait bien produire un tel signal? Notre priorité a été de déterminer si ce pic d'émission était dû à des activités humaines. Contrairement aux faisceaux des pulsars, ce signal ne semblait pas se répéter; nous n'avions dans les données, qui correspondaient à deux heures d'observation, qu'une seule impulsion. L'hypothèse d'un pulsar semblait à écarter. Un examen plus poussé du signal a montré que les différents temps d'arrivée de ses composantes fréquentielles suivaient le motif attendu dans le cas d'une

QUAND L'ÉMISSION RADIO SE DISPERSER

Les astrophysiciens ignorent à quels phénomènes les sursauts radio rapides sont dus. Cependant, ils ont estimé leur distance à partir de l'effet de dispersion des ondes électromagnétiques, qui provoque un retard à l'arrivée sur Terre des ondes de basse fréquence, comparé aux ondes de haute fréquence. La mesure de dispersion dans le cas des sursauts radio rapides suggère que ces signaux proviennent de très loin et qu'ils ont parcouru des distances qui se comptent en milliards d'années-lumière.



dispersion interstellaire; si la source était terrestre, ce serait une coïncidence très improbable. Une preuve supplémentaire que ce sursaut radio était d'origine astronomique et non liée aux activités humaines est qu'il semblait n'émaner que d'un point du ciel. Il est particulièrement brillant sur l'un des lobes récepteurs de l'observatoire de Parkes, et seuls trois autres le détectent faiblement: exactement la marque d'un signal céleste. Un signal d'origine terrestre serait, typiquement, apparu sur les 13 lobes.

Il semblait donc que David Narkevic avait trouvé par hasard un phénomène nouveau. Cette découverte a mobilisé une part croissante de nos activités de recherche et a intrigué toute la communauté des astrophysiciens. Nous pensions que ce signal d'origine inconnue ne pouvait pas être le seul de son genre. Compte tenu de la durée de l'observation de Parkes et du champ qu'elle couvrait, nous avons estimé qu'il pourrait y avoir, à notre insu, plusieurs centaines de ces sursauts chaque jour sur l'ensemble du ciel.

Plus tard en 2007, nous avons publié un article avançant que cet événement était le prototype d'une nouvelle population de sources radio d'origine inconnue. Si nous arrivions à les identifier, nous aurions non seulement découvert un nouveau type d'événement cosmique, mais nous serions capables d'estimer leur distance grâce aux mesures de dispersion. Avec de telles données, il serait possible de cartographier la structure de l'Univers à grande échelle. Mais avant d'en arriver là, il fallait prouver que le sursaut était réel. Cette quête allait connaître maints revirements et a bien failli se conclure par un abandon.

RÉALITÉ OU FICTION ?

Au début, les chercheurs ont été intrigués par notre découverte, vite surnommée le «sursaut Lorimer», et ont commencé à proposer des hypothèses pour expliquer son origine et à rechercher d'autres événements du même genre. Matthew Bailes, de l'université Swinburne de technologie, à Melbourne, et coauteur de notre article rapportant la découverte, a scruté pendant 90 heures, avec le télescope de Parkes, la région du ciel d'où provenait le sursaut Lorimer; il n'y a pas trouvé la moindre trace d'autres bouffées radio. Mais ce travail complémentaire venait 6 ans après l'observation initiale retrouvée dans les archives, et il n'était ainsi pas exclu que des sursauts multiples se soient déroulés dans les heures ou même les années précédant ou suivant l'observation du sursaut Lorimer.

C'est pourquoi Matthew Bailes et Sarah Burke-Spolaor ont analysé davantage de données d'archives de Parkes, mais relatives à une autre région du ciel. Dans un article publié en 2010, ils ont rapporté la découverte de

16 événements qui partageaient de nombreuses caractéristiques avec le sursaut Lorimer. Certains présentaient des mesures de dispersion quasiment identiques, avec des durées et des formes d'impulsion similaires. Mais il y avait une différence saisissante: chacun de ces nouveaux signaux apparaissait dans les 13 lobes du récepteur de Parkes, suggérant fortement qu'ils ne pouvaient pas être associés à une source spatiale.

Leur origine devait se situer plutôt soit au sol, soit dans l'atmosphère: par exemple, un impact de foudre. Eu égard à la nature trompeuse de ces sources, Sarah Burke-Spolaor et Matthew Bailes les ont surnommées *péritios*, du nom du cerf ailé mythique (évoqué par l'écrivain argentin Jorge Luis Borges dans *Le Livre des êtres imaginaires*), qui projette une ombre humaine.

La découverte des *péritios* a conduit de nombreux chercheurs à douter du sursaut Lorimer. Puisque les nouvelles études radio ne révélaient aucun sursaut, la plupart des astronomes ont commencé à croire que le sursaut Lorimer était lui aussi un *péritio*. Le nombre d'articles qui spéculaient sur la nature du signal s'est mis à diminuer. Lors d'une conférence en 2011, il y a même eu un vote à main levée pour voir quelle fraction de l'audience croyait encore à la réalité du sursaut Lorimer. L'un de nous (Duncan Lorimer), assis au premier rang, n'a pas osé se tourner vers le reste de l'auditoire pour voir le résultat du sondage!

Quatre ans après la détection initiale, Maura McLaughlin et deux collègues ont fouillé un important relevé radio de pulsars à la recherche d'autres sursauts. Sans succès. Maura McLaughlin elle-même en est venue à douter du sursaut Lorimer. À tel point qu'elle et ses collègues ont rédigé un article affirmant qu'il était tout compte fait improbable qu'il s'agisse d'un événement astrophysique – rétrospectivement, une conclusion assez embarrassante.

Mais c'est à peu près à ce moment qu'un rebondissement spectaculaire s'est produit. Le premier événement prometteur est survenu en 2012: Evan Keane, qui est aujourd'hui à Manchester, en Angleterre, au siège du projet SKA (*Square Kilometer Array*, un vaste réseau de radiotélescopes en cours d'installation en Australie et en Afrique du Sud), a repéré un autre sursaut fortement dispersé dans les données archivées de Parkes.

Matthew Bailes avait par ailleurs dirigé le projet visant à équiper le radiotélescope de Parkes avec des instruments numériques de pointe, ce qui lui conférait une sensibilité sans précédent pour détecter les sursauts à forte dispersion. La persévérance de Matthew Bailes s'est révélée payante: en 2013, dans un nouveau relevé réalisé à Parkes, des chercheurs ont ➤

> trouvé 4 nouveaux sursauts associés à des mesures de dispersion très variées. Dans l'article qui présentait les premiers résultats de ce relevé, dirigé par Dan Thornton, alors à l'université de Manchester, les scientifiques ont nommé sursauts radio rapides (FRB, pour *fast radio bursts*) ces événements brefs. Un point essentiel est que, contrairement aux péritios, ces 4 sursauts ont été détectés dans un seul lobe, ce qui leur confère une origine cosmique plutôt qu'humaine.

Très vite, de plus en plus de chercheurs se sont lancés dans des recherches dédiées au moyen de différents radiotélescopes. Et d'ailleurs, de sursauts radio rapides ont été détectés. Le télescope de Green Bank, en Virginie-Occidentale, aux États-Unis, en a enregistré un dans une partie du spectre radio différente de celle du sursaut Lorimer ; il apportait ainsi une preuve supplémentaire que le sursaut est une réalité et non le produit d'une particularité des récepteurs de l'observatoire de Parkes.

DES SURSAUTS QUI SE RÉPÈTENT

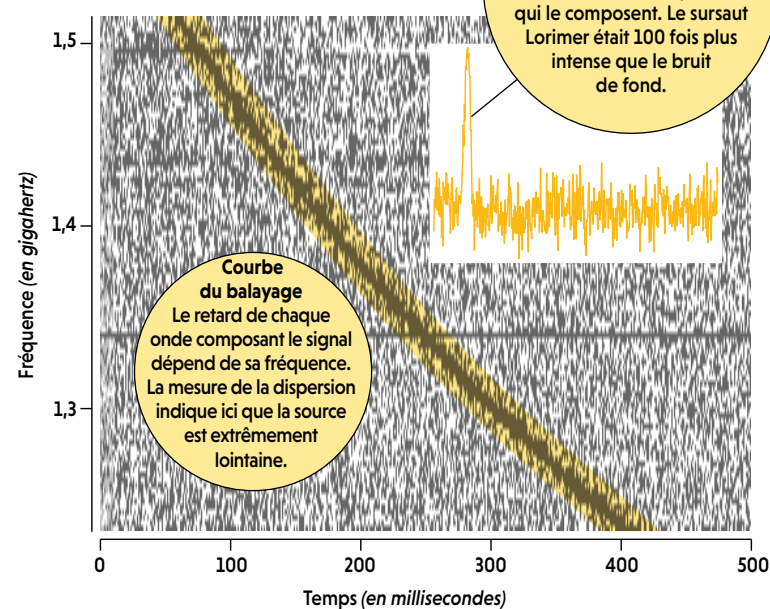
Cependant, en 2016, la quête des sursauts radio rapides s'est corsée. L'équipe de Laura Spitler, de l'institut Max-Planck de radioastronomie à Bonn, en Allemagne, a rapporté l'existence d'une source ayant émis plusieurs sursauts. Jusqu'alors, les astronomes avaient généralement conclu que les sursauts étaient des événements uniques. Mais Laura Spitler et ses collègues ont trouvé un signal répété. Le premier, noté FRB 121102, a été repéré dans les données de 2012 de l'observatoire d'Arecibo, à Porto Rico. Mais dans les 3 années suivantes, les astrophysiciens ont observé 10 sursauts de plus. Ces sursauts ne semblaient pas émis de façon périodique et la durée précise des impulsions radio variait, de même que d'autres caractéristiques.

Motivées par cette découverte, plusieurs équipes de chercheurs ont programmé des campagnes d'observation sur les radiotélescopes du monde entier. L'une d'elles a utilisé le VLA (*Very Large Array*), un réseau de 27 antennes radio, au Nouveau-Mexique, pour rechercher des événements brefs, à l'échelle de la milliseconde, dans la région du ciel où a été vu FRB 121102. Ce relevé a la capacité unique de repérer des sursauts radio sur la voûte céleste avec une précision de plusieurs ordres de grandeur meilleure que celle d'une parabole radio unique. Après environ 6 mois d'observation, l'équipe, dirigée par Shami Chatterjee, de l'université Cornell, a découvert et localisé un nouveau sursaut.

Peu après, l'estimation de la position dans le ciel a encore été améliorée grâce à la technique d'interférométrie à très longue base. Cette approche consiste à combiner les signaux de multiples télescopes du monde entier pour simuler un télescope virtuel beaucoup plus

LE PREMIER SURSAUT RADIO RAPIDE

Ce signal étonnant, le « sursaut Lorimer », a été découvert dans les données d'archives du radiotélescope de Parkes, en Australie. Les astronomes cherchaient initialement des pulsars lointains dont le signal a subi un effet de dispersion : au cours de leur propagation, les ondes électromagnétiques sont ralenties par les interactions avec les électrons libres présents dans l'espace. Cet effet est plus fort pour des ondes de basse fréquence que des ondes de haute fréquence. Les différentes composantes du signal initial nous parviennent donc décalées. Pour mettre en évidence cet effet, les chercheurs tracent l'instant d'arrivée des ondes en fonction de la fréquence ; la courbe régulière surlignée (en jaune) correspond à la décomposition fréquentielle du signal.



grand et doté d'une excellente résolution. Ainsi, Benito Marcote, de l'institut Jive, près de Groningue, aux Pays-Bas, et ses collègues ont localisé les sursauts répétés de FRB 121102 avec une incertitude inférieure à une seconde d'angle (1/3600 degré).

Ce résultat, unique par sa précision, a permis aux astronomes d'identifier la galaxie où les sursauts se sont produits. L'équipe de Shriharsh Tendulkar, de l'université McGill, à Montréal, a ainsi relié FRB 121102 à une galaxie naine environ 20000 fois moins massive que la Voie lactée et se trouvant environ 20000 fois plus loin que le plus distant des pulsars connus. Ces découvertes ont fermement établi que les sursauts radio rapides sont des phénomènes extrêmement lointains, et donc très puissants (sinon, nous ne les détecterions pas).

À ce stade, nous avons établi que les sursauts radio rapides sont des événements cosmiques bien réels, mais il restait beaucoup de chemin à faire pour comprendre leur nature. L'une des questions majeures était de savoir si ces sursauts ont leur origine dans des phénomènes éphémères (comme les supernovæ) ou

s'ils proviennent d'objets à longue durée de vie, comme les pulsars qui émettent périodiquement de puissants signaux. Le cas du sursaut radio répétitif, FRB 121102, penche en faveur de la seconde possibilité, même s'il est unique en son genre. Il est possible que tous les sursauts radio rapides se répètent et que chaque sursaut unique détecté corresponde au plus puissant d'une séquence de sursauts émis par une source. Dans ce cas, il nous faudrait chercher une explication du côté de sources cosmiques durables.

Dans cette catégorie, de nombreux astrophysiciens privilégient des explications impliquant des étoiles compactes telles que des pulsars. Ces objets se forment lors d'une supernova dite à effondrement de cœur. Lorsqu'une étoile très massive meurt, l'essentiel de sa structure s'effondre sur elle-même tandis que ses couches externes sont soufflées vers l'extérieur en une explosion très énergétique. La densité de l'objet résultant est si élevée que les atomes se transforment : leurs protons et leurs électrons s'unissent pour former des neutrons. Le produit final est une «étoile à neutrons», pas plus grosse que le quartier new-yorkais de Manhattan et constituée presque exclusivement de neutrons.

Ces astres tournent sur eux-mêmes extrêmement vite et émettent un rayonnement électromagnétique au niveau de leurs deux pôles magnétiques. Les pulsars correspondent à de

champ magnétique intense, en rotation lente, et dont les émissions résultent de leur énergie magnétique plutôt que de leur rotation. L'un des aspects intéressants et curieux des observations de FRB 121102 par le réseau VLA est la présence d'une forte émission radio persistante, distincte des sursauts radio rapides, dans la galaxie hôte. Les astronomes ont suggéré que cette émission radio est due à un noyau actif de galaxie (un trou noir supermassif au centre d'une galaxie en train d'avaloir grandes quantités de gaz et d'étoiles) et que le sursaut radio rapide est produit par l'interaction du magnétar avec le noyau actif.

UN ENVIRONNEMENT TRÈS MAGNÉTISÉ

Une variante de cette idée est que les sursauts répétitifs proviendraient d'un magnétar enfoui dans le vestige dense d'une hypernova, une supernova particulièrement lumineuse (10, voire 100 fois plus énergétique qu'une supernova ordinaire), qui se serait produite il y a quelques décennies. Une équipe de chercheurs a noté que la galaxie hôte de FRB 121102 est semblable à celles qui sont le théâtre d'un autre phénomène très énergétique, les sursauts gamma, dont on pense qu'ils sont liés à de très jeunes magnétars formés par des hypernovæ.

Très récemment, cette même équipe, menée par Daniele Michilli, de l'université d'Amsterdam, a mesuré le champ magnétique le long de la ligne de visée de FRB 121102. Ils ont étudié la polarisation du rayonnement de 16 sursauts provenant de cette source. Lorsqu'elles traversent un milieu où règne un fort champ magnétique, les ondes électromagnétiques deviennent partiellement polarisées (en l'occurrence, elles acquièrent une polarisation linéaire, c'est-à-dire que le champ électrique de ces ondes oscille dans une direction fixe). Or les ondes radio de FRB 121102 sont polarisées à 100%! Cela indique que la source de FRB 121102 doit se trouver dans une région où le champ magnétique est intense, comme c'est le cas dans un vestige de supernova dense ou autour d'un trou noir supermassif situé au centre d'une galaxie. Mais d'autres scénarios sont également possibles.

Par ailleurs, on ne peut pas encore exclure la possibilité d'événements vraiment uniques. Peut-être certains sursauts se répètent-ils et d'autres pas : il y aurait dans ce cas différents types de sursauts radio rapides, associés à des sources différentes. Et de fait, Divya Palaniswamy, à l'université du Nevada à Las Vegas, et ses collègues ont récemment montré que si tous les sursauts radio rapides se répètent au rythme observé pour FRB 121102, alors nous aurions dû voir d'autres événements multiples. Il est donc raisonnable de supposer que certains sursauts radio rapides ont leur origine dans des événements cataclysmiques uniques. Un ➤

L'énergie rayonnée lors du sursaut Lorimer était supérieure à celle que le Soleil émet en un mois

tels astres dont les faisceaux pointent vers la Terre périodiquement, en raison de leur rotation. Comme les sursauts répétés de FRB 121102 ont des propriétés compatibles avec celles des impulsions extrêmement énergétiques émises par une jeune étoile à neutrons, les sursauts radio rapides pourraient en définitive n'être que des pulsars – mais des pulsars d'un type rare et particulièrement puissant.

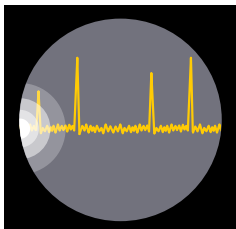
Selon une idée voisine, les sursauts radio rapides proviendraient de ce qu'on appelle des magnétars : des étoiles à neutrons ayant un

LES SOURCES POSSIBLES DES SURSAUTS RADIO RAPIDES



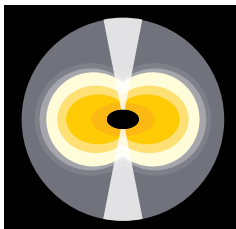
Pulsation d'une étoile à neutrons très massive

Les étoiles à neutrons, vestiges denses d'étoiles mortes, émettent un rayonnement sous forme de faisceaux qui balaient l'espace : elles donnent l'impression de pulser en tournant à la manière d'un phare. Une étoile à neutrons particulièrement puissante pourrait être à l'origine d'un sursaut radio rapide.



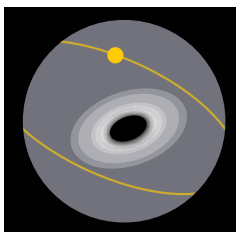
Collision d'étoiles à neutrons

Si deux étoiles à neutrons entrent en collision, l'impact produit un trou noir (ou une étoile à neutrons particulièrement massive) et libère de grandes quantités d'ondes électromagnétiques.



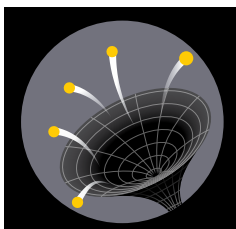
Supernova énergétique

Quand une étoile massive est en fin de vie, elle s'effondre, ce qui conduit à une explosion appelée supernova. Les sursauts radio rapides pourraient correspondre à des supernovæ particulièrement énergétiques.



Interaction avec un magnétar

Des étoiles à neutrons fortement magnétisées, appelées magnétars, émettent un rayonnement engendré par leur énergie magnétique plutôt que par leur rotation. Si l'un de ces astres se trouvait en rotation autour d'un trou noir qui avale de la matière (comme dans un noyau actif de galaxie), l'interaction des deux corps se traduit peut-être par un sursaut radio rapide.



Évaporation d'un trou noir primordial

Certains théoriciens spéculent que le Big Bang aurait créé des trous noirs primordiaux éparpillés dans l'espace. Si l'un de ces trous noirs s'évaporerait spontanément, un éclair radio pourrait s'ensuivre.



Cordes cosmiques

Ces défauts de l'espace-temps sont un autre résultat exotique possible du Big Bang. À supposer qu'ils existent, ils ont pu faire jaillir des éclairs en interagissant avec le plasma qui emplissait l'Univers primordial.

> certain nombre de sources potentielles sont alors à envisager.

Tout en haut de la liste figure la collision de deux étoiles à neutrons. Un tel fracas libérerait probablement un puissant souffle pendant que les deux astres compacts fusionnent en formant un unique trou noir. Une deuxième possibilité pour un événement unique serait l'explosion d'une supernova particulièrement énergétique.

Les théoriciens ont aussi imaginé des scénarios plus exotiques. L'un d'entre eux est l'hypothèse des cordes cosmiques. De tels objets auraient pu se former dans l'Univers primordial lorsque ce dernier a subi des transitions de phase – des changements d'état. Il aurait résulté de ces transitions des défauts, dits topologiques, de l'espace et du temps : les cordes cosmiques. Ces dernières se seraient propagées à la vitesse de la lumière dans le cosmos qui était alors rempli de plasma brûlant, et auraient produit des bouffées de rayonnement en interagissant avec le plasma. Les observations dont nous disposons ne permettent pas d'exclure que les sursauts radio rapides correspondent à ce scénario, qui est cependant hautement spéculatif.

Les scientifiques ont aussi proposé comme source de sursauts radio les trous noirs primordiaux, de petits trous noirs qui se seraient formés à la naissance de l'Univers et qui n'ont pour l'instant pas été détectés. Si l'un de ces trous noirs primordiaux s'évaporerait spontanément, il émettrait un rayonnement qui pourrait correspondre à un signal de sursaut radio rapide.

Si l'une ou l'autre de ces idées devait trouver confirmation, le sursaut Lorimer serait la première preuve observationnelle de ces phénomènes exotiques.

CARTOGRAPHIER LE CIEL

Dix ans après la découverte du sursaut Lorimer, la quête de ces signaux est en passe d'entrer dans une phase inédite grâce à des télescopes de nouvelle génération.

En 2012, le réseau *Askap* (*Australian square kilometer array pathfinder*) à grand champ de vue est entré en service et a très vite permis de détecter des sursauts radio rapides. Au moment où nous écrivons cet article, on connaît près d'une trentaine de ces sursauts. Certaines installations existantes telles que le VLA et le radiotélescope de Molonglo, près de Canberra, en Australie, ont subi des travaux de rénovation qui ont permis d'améliorer leur sensibilité et leur couverture du ciel. Ces radiotélescopes modernisés sont maintenant opérationnels, rejoints par d'autres entièrement nouveaux comme *Chime* (Expérience canadienne de cartographie de l'intensité de l'hydrogène) et *Fast* (un radiotélescope sphérique de 500 mètres d'ouverture, en Chine).

Cela devrait notablement augmenter notre échantillon de sursauts radio rapides et nous apporter une bien meilleure compréhension de leur origine.

Certains des nouveaux télescopes peuvent localiser les sursauts radio rapides avec une précision d'une seconde d'angle en temps réel. Avec une telle réactivité, nous espérons réaliser des observations complémentaires dans d'autres longueurs d'onde, pour, notamment, mieux identifier la galaxie hôte de ces sursauts.

Par ailleurs, certains modèles expliquant les sursauts radio rapides, comme celui des fusions d'étoiles à neutrons, prédisent qu'ils s'accompagnent d'une production d'ondes gravitationnelles. Or en 2015, les physiciens ont réussi l'exploit de détecter ces ondulations de l'espace-temps, grâce aux expériences *Ligo* et *Virgo*. Il existe donc aujourd'hui une possibilité réelle de détecter conjointement les émissions électromagnétiques et les émissions d'ondes gravitationnelles de ces sources. Grâce à une telle détection, les chercheurs auront accès à certaines propriétés de la source d'un sursaut radio rapide, telle que sa masse, information impossible à obtenir par d'autres moyens. On peut donc espérer des progrès majeurs et prochains dans la compréhension de ces messagers cosmiques.

Au-delà de percer l'identité et l'origine des sursauts radio rapides, l'étude de ces signaux sera aussi utile pour un projet ambitieux : la cartographie de l'Univers. Les astronomes en sont encore aux premières étapes de leur entreprise visant à déterminer la répartition de la matière dans l'espace et à visualiser les structures qu'elle forme à grande échelle. Or les sursauts radio rapides apportent une information précieuse dans ces efforts de cartographie. Ce sont en effet les seuls signaux extragalactiques à notre disposition qui soient assez courts pour qu'on puisse en mesurer la dispersion intergalactique et en déduire la densité de la matière le long de la ligne de visée. La densité du milieu intergalactique est une prédiction critique de divers modèles de la structure de l'Univers à grande échelle, et l'information fournie par les sursauts radio rapides devrait donc permettre de faire le tri entre ces modèles.

L'histoire des sursauts radio rapides n'en est qu'à ses débuts. Si nous sommes maintenant convaincus qu'ils existent, nous esquissons à peine leur origine. Mais les choses s'accroissent. En mars 2018, pas moins de trois sursauts ont été détectés par l'observatoire de Parkes, dont le plus lumineux jamais capté, ce qui nous promet encore des découvertes passionnantes. ■

BIBLIOGRAPHIE

S. Chatterjee et al., **A direct localization of a fast radio burst and its host**, *Nature*, vol. 541, pp. 58-61, 2017.

D. Kasen, **Des kilonovæ aux ultranovæ**, *Pour la Science*, n° 474, avril 2017.

D. R. Lorimer et al., **A bright millisecond radio burst of extragalactic origin**, *Science*, vol. 318, pp. 777-780, 2007.

Direction de l'innovation et des relations avec les entreprises

cnrs

formation entreprises

Organisme de formation continue

→ 230 formations technologiques courtes proposées par le CNRS dans ses laboratoires de recherche pour les chercheurs, ingénieurs et techniciens

→ Domaines de formation
Big data, sciences de l'ingénieur, matériaux, biologie, microscopie, spectrométrie, urbanisme... et plus encore

+ de 1300 stagiaires formés chaque année



Découvrez nos stages sur
cnrsformation.cnrs.fr



contact : cfe.contact@cnrs.fr ou +33 (0)1 69 82 44 55 @CNRS_CFE



Ces deux mérinos d'Islande illustrent pourquoi cette race de mouton est la plus productive en laine de toutes.

L'ESSENTIEL

> Les mouflons, c'est-à-dire les moutons sauvages, au pelage rêche, ont été domestiqués au Néolithique pour leur viande et leur lait.

> Les plus anciennes mentions de moutons à laine sont mésopotamiennes et datent de la fin du IV^e millénaire.

> Toutefois, les fusaioles et fuseaux à filer la laine qui parsèment les habitats néolithiques prouvent que des moutons laineux étaient élevés en Asie occidentale dès le V^e millénaire, voire avant.

> En Europe, cela n'est venu qu'un millénaire plus tard.

L'AUTEUR



WOLFRAM SCHIER
professeur d'archéologie
néolithique à l'université libre
de Berlin, en Allemagne

Du mouton à poils au mouton à laine

Quand et où les populations humaines ont-elles commencé à élever des moutons pour leur laine ? Les archéologues ont recueilli de nombreux indices montrant que la sélection et la domestication de moutons laineux ont débuté au V^e millénaire, voire avant, dans les villages néolithiques d'Asie occidentale.

Autrefois, en Colchide, un royaume bordant l'est de la mer Noire, une toison dorée de bélier décorait le bois sacré d'Arès (Mars). Un dragon insomniaque gardait jour et nuit ce trésor fabuleux : la Toison d'or. Jason et ses Argonautes réussirent tout de même à le voler, nous raconte Homère. Bien d'autres fragments de mythes – le « loup en peau de mouton » des évangiles de Mathieu par exemple – attestent de la présence très précoce du mouton dans la culture.

Ces microtémoignages ne remontent cependant pas à la domestication du mouflon, c'est-à-dire du mouton sauvage, puisque la toison de cet animal aux cornes impressionnantes n'avait rien de laineux. Le pelage des mouflons

est en effet rêche comme celui d'une chèvre. La laine est donc l'un des sous-produits de la domestication du mouflon, dont on ignore quand exactement elle s'est déroulée. Dommage, car, en concurrençant les fibres végétales utilisées auparavant – celles du lin, du raphia (un genre de palmier), voire des orties –, les fines fibres qui composent la laine ont sans doute joué un grand rôle social.

Comme nous le verrons, la détermination directe de la date d'apparition et de l'origine géographique de la laine est exclue. C'est pourquoi l'équipe Révolution textile que je dirige à l'université libre de Berlin s'est concentrée sur tous les indices indirects pouvant être rassemblés afin de constituer un tableau cohérent des premières manifestations de la laine.

>