

> 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

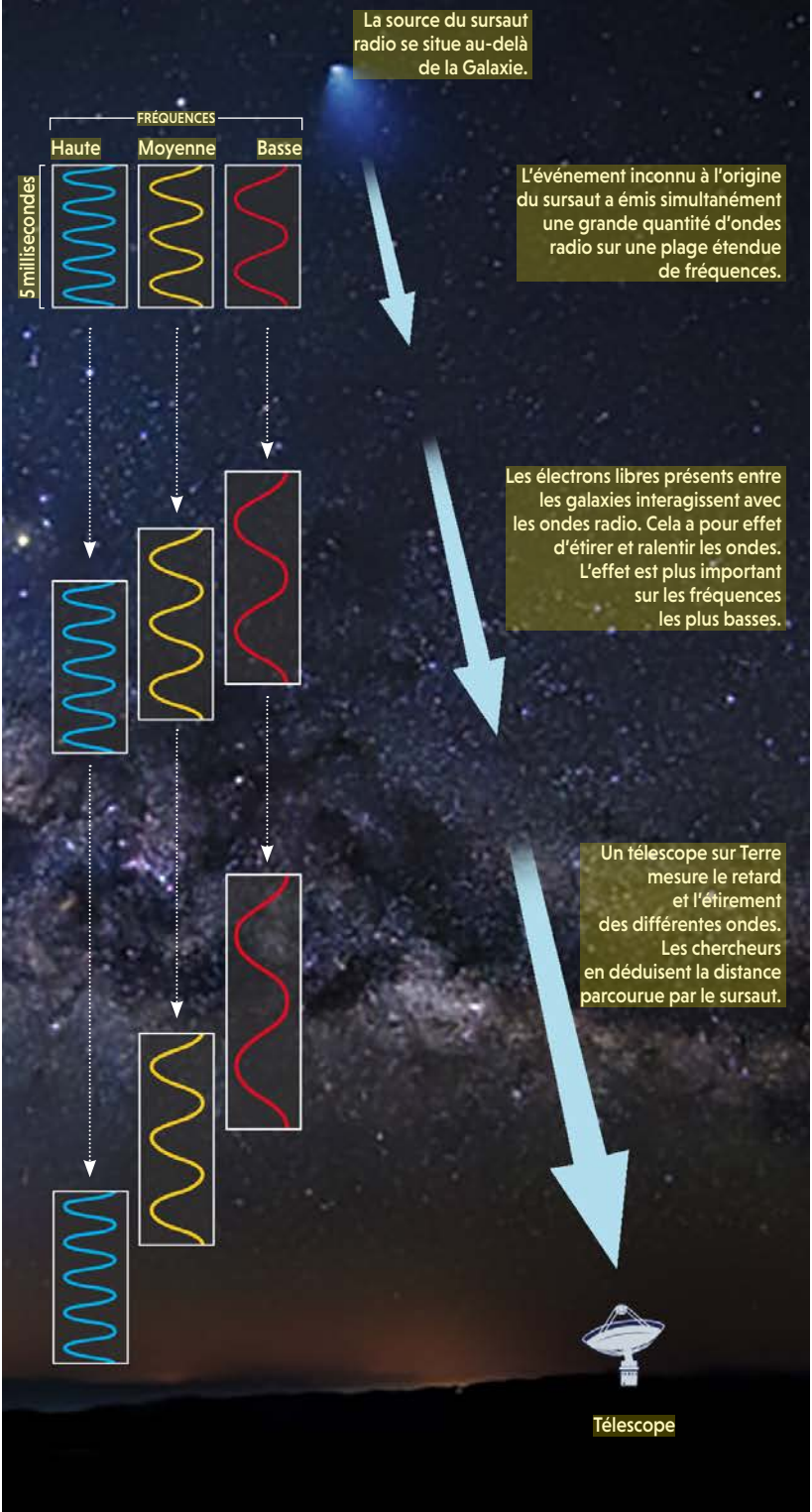
Le signal que David Narkevic avait trouvé était très curieux non seulement du fait de son intensité, mais aussi du fait qu'il provenait d'une région du ciel quelques degrés au sud du Petit nuage de Magellan, où nous ne nous attendions pas à observer de pulsars associés à cette galaxie naine. Plus étonnant, 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 DISPERSÉ

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 davantage 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

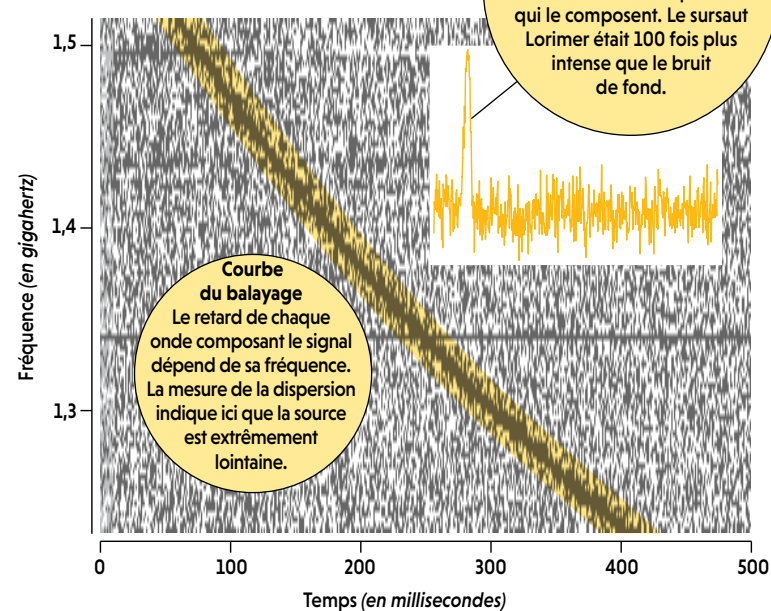
Cependant, en 2016, la quête des sursauts radio rapides s'est corsée. L'équipe de Laura Spitler, de l'institut Max-Planck de radioastronomie à Bonn, en Allemagne, a rapporté l'existence d'une source ayant émis plusieurs sursauts. Jusqu'alors, les astronomes avaient généralement conclu que les sursauts 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