

données disponibles de *Fermi* quand j'ai remarqué que les mesures initiales des rayons gamma dessinaient un vague contour, au-delà duquel le signal diminuait rapidement.

En astronomie, des limites nettes sont généralement associées à des événements transitoires. Par exemple, quand une étoile explose en supernova, l'onde de choc dessine un bord net en se propageant puis, avec le temps, la structure s'estompe.

Mais dans le scénario de la matière noire, nous n'avons pas affaire à un phénomène transitoire et le rayonnement gamma issu de l'annihilation de ces mystérieuses particules devrait suivre la densité de matière noire et décroître progressivement à mesure que l'on s'éloigne du centre galactique.

Dans le premier lot de données de *Fermi*, les contours étaient mal définis et pouvaient

être interprétés comme du bruit de fond dans le signal. Mais ils étaient toujours présents dans les nouvelles données, et je commençais à me poser des questions. J'ai montré ces contours à mes étudiants en thèse Meng Su et Tracy Slatyer, qui furent aussi d'avis qu'ils étaient bien réels. M. Su s'est alors mis au travail pour déterminer la forme exacte des contours. En quelques jours, nous avions changé d'avis quant à leur interprétation. La matière noire était disqualifiée. Les bulles entraient en scène. En mai 2010, M. Su, T. Slatyer et moi soumettions un nouvel article décrivant ces structures et les nommions « bulles de Fermi ».

Même si personne ne s'attendait à trouver de grosses bulles jaillissant sur des dizaines de milliers d'années-lumière hors du plan de la Voie lactée, ce n'était, en y réfléchissant

après coup, peut-être pas si incroyable que cela. De nombreuses autres galaxies présentent elles aussi des bulles. Nous pouvons les voir en rayons X et en ondes radio, et si nous disposions de meilleurs télescopes à rayons gamma, nous les verrions probablement briller aussi dans cette portion du spectre électromagnétique.

Nous comprenons les processus à l'origine des bulles dans nombre de ces galaxies. Dans certains cas, les bulles ont pour origine un trou noir géant, souvent d'une masse équivalente à plusieurs milliards de soleils, au centre de la galaxie. Quand de la matière tombe vers le trou noir, elle se met à tourbillonner comme l'eau qui s'écoule d'une baignoire. Ce tourbillon de gaz et de poussière brûlants crée des champs magnétiques intenses qui entraînent des jets de rayonnement et de particules cosmiques perpendiculaires au plan galactique.

Nous savons que la Voie lactée abrite elle aussi un trou noir supermassif en son centre, mais nous n'avons jamais observé un quelconque jet puissant de rayonnement intense émis de son centre. Ainsi, nous n'avons pas de preuve directe que c'est ce processus qui gonfle les bulles de Fermi.

Un œil braqué sur les rayons gamma

L'atmosphère terrestre bloque les rayons gamma, dont l'énergie est des milliards de fois supérieure à celle de la lumière visible. Pour les observer directement, les astrophysiciens utilisent des télescopes spatiaux.

Le télescope spatial *Fermi* est l'observatoire de rayons gamma le plus puissant jamais mis en orbite. Il comporte deux instruments principaux : un moniteur de sursauts qui surveille l'ensemble du ciel à l'affût de traces de bouffées transitoires de rayons gamma, et le LAT (*Large Area Telescope*), qui est le détecteur de rayons gamma doté de la plus grande sensibilité et de la meilleure résolution jamais envoyé dans l'espace.

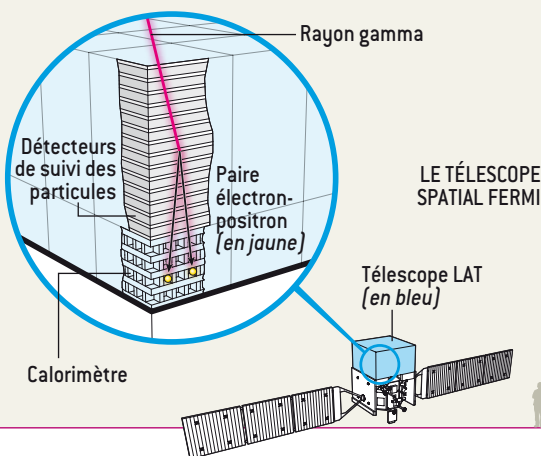
Le LAT est différent des télescopes optiques : il n'a ni miroirs ni lentilles. Il fonctionne plutôt comme une expérience de physique des particules. Chaque photon gamma incident qui interagit avec un noyau atomique à l'intérieur du télescope est transformé en un positron et un électron. Ces particules sont alors suivies à

travers des détecteurs embarqués et un calorimètre mesure leur énergie. Au sol, les astrophysiciens utilisent ces données pour reconstruire la direction et l'énergie du rayon gamma initial.

La plupart des télescopes ne peuvent couvrir qu'une minuscule fraction du ciel à un instant donné, et les astronomes se donnent beaucoup de mal pour déci-

der quelles parties du ciel observer. La concurrence pour le temps de télescope est rude, et il n'est généralement pas possible d'observer de larges bandes de ciel dans lesquelles on n'attend rien de particulièrement intéressant. En revanche, *Fermi* a un champ de vue qui couvre un cinquième du ciel, ce qui permet d'observer l'intégralité de la voûte céleste toutes les trois heures. Cette couverture complète du ciel donne aux astronomes la chance de trouver d'immenses structures peu lumineuses telles que les bulles de Fermi.

- D. F., M. S. et D. M.



Un jet de lumière galactique

Par ailleurs, ce que nous pouvons voir dans la Galaxie est un nuage de gaz, nommé courant magellanique, qui forme une arche très haut au-dessus du centre galactique. Si un rayonnement intense l'atteignait, il arracherait temporairement les électrons des atomes du nuage. Et en se recombinant, les électrons et les ions produiraient ce qu'on nomme un rayonnement de recombinaison.

Or c'est ce que les astronomes ont trouvé. Il est possible qu'un épisode intense d'accrétion autour du trou noir central de la Galaxie se soit produit il y a environ un million d'années ; il aurait engendré des jets de haute énergie et du rayonnement ultraviolet, qui auraient perturbé les électrons du courant magellanique. Cet événement aurait pu créer les bulles de Fermi.

Les observations de certaines galaxies, telle M82, ouvrent une seconde piste : ces galaxies présentent des bulles qui résultent d'une intense activité de formation d'étoiles près de leur centre. Dans les pouponnières stellaires, il se forme des étoiles de toutes tailles. Plus une étoile est massive, plus elle consomme vite son combustible nucléaire.

Quand le combustible se fait rare, le cœur de l'étoile s'effondre et libère une énorme quantité d'énergie qui arrache les couches externes de l'étoile dans une explosion de supernova, pouvant laisser derrière elle une étoile à neutrons ou un trou noir. Ces supernovæ créent un vent de particules qui peut gonfler des bulles autour d'un centre galactique.

Nous savons que le centre de la Voie lactée a été une région de formation stellaire intense dans un passé proche. Plusieurs milliers d'étoiles d'à peine six millions d'années entourent la région du trou noir central. Des étoiles suffisamment massives formées à la même période auraient eu le temps d'exploser en supernovæ. Elles auraient alors entraîné un vent de gaz chaud s'élevant de la partie centrale de la Galaxie, un souffle assez puissant pour gonfler les bulles.

Comme nous le voyons, l'histoire des bulles de Fermi est étroitement liée à l'histoire et à l'évolution de la Voie lactée. Les bulles peuvent nous permettre de comprendre les processus physiques par lesquels les trous noirs attirent la matière

■ BIBLIOGRAPHIE

A. Franckowiak et S. Funk, **Giant gamma-ray bubbles in the Milky Way**, *Physics Today*, vol. 67, pp. 60-61, juillet 2014.

W. Atwood et al., **Fermi : une fenêtre sur l'Univers extrême**, *Dossier Pour la Science*, n° 71, avril-juin 2011.

Meng Su et al., **Giant gamma-ray bubbles from Fermi-LAT : Active galactic nucleus activity or bipolar galactic wind ?**, *The Astrophysical Journal*, vol. 72(2), pp. 1044-1082, 2010.

environnante, et comment les rayons cosmiques de haute énergie interagissent avec le gaz interstellaire. Bien qu'il existe des structures semblables aux bulles de Fermi dans d'autres galaxies, les bulles de la Voie lactée permettent d'étudier ces systèmes de plus près.

L'une des propriétés les plus extraordinaires de ces bulles est qu'elles sont énormes et brillantes en rayons gamma, mais presque invisibles aux autres fréquences. Nous espérons que les nouvelles données du satellite *Planck*, qui a cartographié le rayonnement micro-onde sur l'ensemble du ciel, apporteront des indices importants. Nous essayons aussi de cartographier les bulles en rayons X, mais le champ de vue réduit des instruments actuels représente un sérieux défi pour des structures aussi vastes.

Après la découverte par Galilée de la nature de la Voie lactée, les astronomes ont mis trois siècles pour comprendre que notre Galaxie n'en est qu'une parmi des milliards d'autres. Avec un peu de chance, nous mettrons moins longtemps à comprendre la signification des bulles de Fermi. ■

france culture

C'EST POUR VOUS

LA MARCHÉ DES SCIENCES

AVENTURES SAVANTES AU FIL DE L'HISTOIRE
AURÉLIE LUNEAU / JEUDI 14H - 15H

EN PARTENARIAT AVEC SCIENCE

écoutez, réécoutez et podcastez l'émission sur franceculture.fr

QR code and social media icons (Facebook, Twitter)