

l'explosion est-il fréquent? Quel est le mécanisme physique qui le produit?

Mes recherches ont pris une direction inattendue. Je ne m'intéressais plus seulement aux sursauts gamma, mais aussi aux signes avant-coureurs de l'explosion des étoiles massives.

C'est seulement dans les six derniers mois de ma thèse que j'ai enfin trouvé un candidat solide pour une émission rémanente de sursaut gamma (notée SN2020btl). Le 28 janvier 2020, alors que j'examinais les événements sélectionnés par mon code, j'ai remarqué quelque chose de prometteur. La prudence était de mise (au fil des années, j'avais eu de nombreux faux espoirs). J'ai immédiatement demandé des observations complémentaires sur un télescope de La Palma, aux îles Canaries. Elles ont confirmé que cette source s'atténuait rapidement, comme on s'y attend pour une émission rémanente. Cette nuit-là, j'ai sollicité des observations urgentes sur le télescope *Hale* de cinq mètres, à l'observatoire Palomar, qui ont montré que la source continuait de s'affaiblir. La nuit suivante, j'ai obtenu des données dans la gamme des rayons X grâce au télescope spatial *Neil Gehrels-Swift Observatory*, confirmant qu'il s'agissait d'une émission rémanente de sursaut gamma. La nuit d'après encore, j'ai réussi à obtenir un bref créneau sur le télescope *Keck*, à Hawaï, dans l'espoir de mesurer la distance à laquelle s'était produite l'explosion.

Équipée d'un sac de couchage, j'ai dormi dans la salle d'observation à distance de mon université, l'institut de technologie de Californie. J'avais réglé mon réveil sur quatre heures du matin pour préparer mon observation. Celle-ci était programmée en toute fin de nuit. J'étais stressée. À une heure où le ciel s'éclaircit rapidement, allais-je obtenir des mesures suffisantes de ma source déjà assez peu lumineuse? J'ai fait au mieux, puis j'ai téléphoné à mon collègue Dan Perley, de l'université John Moores, à Liverpool, au Royaume-Uni, et nous avons examiné les données ensemble. J'avais eu de la chance. La source était faible, mais il y avait une signature évidente dans la lumière de l'événement qui nous a permis de mesurer sa distance. Quand cette étoile a explosé, l'Univers n'avait que 2,3 milliards d'années. Les photons de l'explosion ont mis 11,4 milliards d'années pour atteindre la Terre. À une telle distance, tout autre objet transitoire qu'un sursaut gamma aurait été impossible à observer.

Quelques mois après cette première émission rémanente, nous en avons trouvé une deuxième. Pour mettre cela en perspective, antérieurement à ZTF, seules trois émissions rémanentes avaient été trouvées sans l'aide de la détection du sursaut gamma associé, alors que nous en avons trouvé deux en quelques mois. Comme notre stratégie de recherche

semblait opérationnelle et efficace, nous espérons en trouver rapidement d'autres.

Pour le moment, avec deux émissions rémanentes sur lesquelles travailler, il est difficile d'apporter des réponses aux nombreuses questions qui se sont accumulées sur ce sujet. Il est même difficile de dire si une émission rémanente donnée est un sursaut gamma normal dont on aurait manqué le jet ou s'il a pu être produit par un autre type de phénomène. Il nous faudra trouver davantage d'événements avant de pouvoir dire si nous assistons à des phénomènes vraiment différents.

ÉTOFFER LE CATALOGUE

Au cours de mes travaux, nous avons découvert de nombreux types inhabituels d'explosions stellaires: AT2018cow dont nous avons peut-être vu la naissance de l'objet compact résultant; l'étrange supernova Ic-BL (le type associé aux sursauts gamma) qui s'est fracassée sur un cocon de matière mais ne présentait pas de jet; deux autres supernovæ Ic-BL qui avaient probablement des jets, mais moins énergétiques et plus larges que ceux des sursauts gamma ordinaires; et, vers la fin de ma thèse, deux véritables émissions rémanentes, dont l'une s'est révélée être associée à un sursaut gamma.

L'histoire et le destin des étoiles semblaient s'organiser suivant des catégories simples et faciles à caractériser. Mais depuis peu, la mort des astres semble suivre des chemins bien plus riches et surprenants. Pour l'instant, les astronomes sont tels des zoologistes, explorant des territoires inconnus et caractérisant les différentes espèces qu'ils rencontrent (dans mon cas, des explosions stellaires). L'étape suivante consistera à repérer des motifs caractéristiques parmi les événements atypiques que nous découvrirons. Avec quelle prévalence se produit chaque type d'explosions? Se produisent-elles dans des galaxies aux caractéristiques particulières (riches ou pauvres en éléments lourds, en poussière, etc.)? Ces différentes catégories correspondent-elles à des «espèces» vraiment différentes, ou bien sont-elles simplement des manifestations variées d'un même phénomène? Mes collègues et moi travaillons déjà sur quelques pistes impliquant la vitesse de rotation de l'étoile ou encore des interactions de l'astre avec d'autres étoiles.

Pour répondre à ces questions, nous aurons besoin d'un catalogue bien plus étoffé. D'ici à quelques années, l'observatoire *Vera-Rubin*, actuellement en construction au Chili, utilisera la plus grosse caméra numérique jamais conçue (plus de 3 milliards de pixels) pour détecter 10 millions d'événements transitoires chaque nuit. C'est dix fois plus que le ZTF. Avec un instrument aussi puissant, il sera possible de comprendre pourquoi les étoiles meurent de mille et une façons différentes. ■

BIBLIOGRAPHIE

O. J. Roberts et al., **Rapid spectral variability of a giant flare from a magnetar in NGC 253**, *Nature*, vol. 589, pp. 207-210, 2021.

A. Y. Q. Ho et al., **ZTF20aajnksq (AT 2020btl) : A fast optical transient at $z \approx 2.9$ with no detected gamma-ray burst counterpart**, *The Astrophysical Journal*, vol. 905, article 98, 2020.

A. Y. Q. Ho et al., **Evidence for late-stage eruptive mass loss in the progenitor to SN2018gep, a broad-lined Ic Supernova : Pre-explosion emission and a rapidly rising luminous transient**, *The Astrophysical Journal*, vol. 887, article 169, 2019.

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