

nées : les détecteurs de *Kamiokande* avaient enregistré 11 flashes en l'espace de quelques secondes, près de trois heures avant la première observation optique de la supernova au Chili et en Nouvelle-Zélande. De l'autre côté de la planète, un détecteur similaire de neutrinos, IMB (pour Irvine-Michigan-Brookhaven), situé dans une mine de sel sous le lac Érié aux États-Unis, avait enregistré huit flashes au même moment que *Kamiokande*. Plus tard, les chercheurs apprirent qu'une troisième expérience, l'Observatoire de neutrinos à Baksan, dans le Caucase russe, avait détecté cinq neutrinos.

La vingtaine de neutrinos enregistrée n'était qu'une fraction des milliards de milliards de neutrinos ayant traversé la Terre pendant un bref instant et émanant de l'étoile qui a explosé dans le Grand Nuage de Magellan. Un si petit nombre de neutrinos ne semble pas spectaculaire, mais il suffisait pour confirmer les calculs de Bahcall. En outre, la supernova 1987A a été la première source astrophysique de neutrinos étudiée en dehors du Soleil et a conduit à de nombreux résultats. John Beacom, physicien théoricien de l'Université de l'Ohio, souligne que ces neutrinos offrent la possibilité d'étudier l'intérieur des étoiles en fin de vie, ce que les astronomes ne peuvent faire avec les télescopes classiques.

Malgré le faible nombre de neutrinos captés, ceux-ci ont permis de confirmer d'importants aspects de la façon dont une étoile explose. Le nombre et l'énergie des particules correspondaient aux prévisions des modèles. Les physiciens ont, par exemple, exclu des scénarios exotiques où la supernova perd de l'énergie en émettant des particules hypothétiques, nommées axions, ou par des fuites dans des dimensions supplémentaires de l'espace-temps. L'arrivée des neutrinos, étalée sur quelques secondes et non simultanée, indique que les particules ont dû s'échapper d'un petit noyau stellaire dense tel qu'il est décrit dans les modèles.

Les mesures ont par ailleurs fourni des indications sur la nature des neutrinos. En arrivant sur Terre trois heures avant les photons captés par les télescopes, les neutrinos ont voyagé à une vitesse proche de celle de la lumière. Les particules légères se déplaçant plus vite que les particules lourdes, une limite supérieure sur la masse des neutrinos a été établie, égale à 12 électronvolts (en unités d'énergie). Cette masse est si faible que les astrophysiciens ont conclu que, malgré la quantité gigantesque

de neutrinos dans l'Univers, ces particules ne peuvent contribuer de façon prépondérante à la « matière noire », une composante importante de l'Univers dont la nature est inconnue. De plus, quand les médias se sont emballés en 2011 à propos d'une mesure (qui se révéla plus tard erronée) indiquant des neutrinos plus rapides que la lumière, les neutrinos de la supernova fournirent un contre-argument de poids : si les neutrinos se déplaçaient plus vite que la lumière, ils seraient arrivés sur Terre des années, et non quelques heures, avant les photons.

L'espoir d'une explosion stellaire proche

La supernova 1987A a donné un aperçu de ce que les astrophysiciens peuvent apprendre sur l'intérieur des étoiles mourantes. Alex Friedland, du Laboratoire américain de Los Alamos, explique que si 1 000 neutrinos étaient détectés en provenance d'une supernova, on pourrait alors retracer l'ensemble du processus d'explosion et déterminer le destin de l'étoile. De leur côté, les physiciens des particules pourraient étudier le comportement des neutrinos dans des conditions extrêmes qui ne peuvent être reproduites en laboratoire.

Pour observer un tel flux de neutrinos, les chercheurs doivent être témoins d'une supernova se déroulant au sein de la Voie lactée. Aucune supernova n'a été détectée dans la Galaxie depuis celles de 1572 et de 1604, cette dernière ayant été si brillante qu'elle était visible en plein jour. Les observations des vestiges de ces supernovæ suggèrent qu'elles résultent de l'explosion d'une étoile de type naine blanche qui aurait soit absorbé de grandes quantités de matière d'une étoile compagnon, soit fusionné avec une autre naine blanche.

À partir des observations portant sur d'autres galaxies, les astronomes estiment qu'en moyenne, quelques étoiles devraient exploser par siècle au sein de la Voie lactée. Elles ne seraient pas toujours visibles, car la poussière interstellaire absorbe une partie du rayonnement. En revanche, leurs neutrinos arriveraient sur Terre sans obstacle de n'importe où dans la Voie lactée.

Des détecteurs de neutrinos assez sensibles scrutent le ciel depuis 25 ans. Si les estimations sont correctes, une supernova pourrait survenir bientôt dans la Voie lactée. Il ne faut pas manquer cet événement rare, et les physiciens s'y préparent.

L'AUTEUR



Ray JAYAWARDHANA occupe la chaire de recherche du Canada en astrophysique

observationnelle et est professeur à l'Université de Toronto.

Cet article est adapté de son livre *Neutrinos Hunters: The Thrilling Chase for a Ghostly Particle to Unlock the Secrets of the Universe*, Scientific American/Farrar, Straus and Giroux, 2013 (© Ray Jayawardhana, 2013).

BIBLIOGRAPHIE

M. Hirsch *et al.*, Les neutrinos, messagers de l'inconnu, *Pour la Science*, n° 431, septembre 2013.

W. Hillebrandt, Supernovæ : des explosions énigmatiques, *Pour la Science*, n° 336, octobre 2005.

K. Hirata *et al.*, Observation of a neutrino burst from the supernova SN1987A, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 58, n° 14, pp. 1490-1493, 1987.

J. N. Bahcall *et al.*, Neutrinos from the recent LMC supernova, *Nature*, vol. 326, pp. 135-136, 1987.