

gluons. Les expériences dans les accélérateurs de particules nous permettraient d'en savoir plus sur les conditions nécessaires pour l'apparition des hypérons, par exemple. Dans le cas du plasma de quarks et de gluons, l'expérience *Alice*, au LHC, est dédiée à l'étude de cet état de la matière. Mais ce plasma artificiel est obtenu pour une température élevée et une densité très faible, loin des conditions du cœur d'une étoile à neutrons, dont la température est relativement faible et la densité élevée. Des expériences de collisions d'ions lourds au *Ganil*, à Caen, dans les accélérateurs *Fair*, à Darmstadt, en Allemagne, ou *Nica*, à Doubna, en Russie, s'approcheront davantage des conditions de densité des étoiles à neutrons (voir l'encadré page suivante).

Une autre façon d'identifier la composition du cœur d'une étoile à neutrons consiste à remarquer que la structure interne de l'astre influe sur sa taille. En effet, dans le cas de neu-

trons, ainsi que la façon dont le champ gravitationnel intense de ces étoiles déforme la trajectoire des photons, les chercheurs calculeront la masse et le rayon des pulsars et pourront les comparer. «Si *Nicer* trouve des étoiles de masses assez proches mais de rayons très différents, cela voudrait dire qu'il se passe quelque chose de bizarre», explique Mark Alford, comme une transition de phase entre deux formes de matière, qui ferait rétrécir l'étoile. Une telle transition pourrait se produire, par exemple, quand les neutrons se décomposent en quarks et en gluons.

Mesurer la taille des étoiles à neutrons est utile pour resserrer l'éventail des formes que peut y revêtir la matière. Les spécialistes ont longtemps pensé que la moitié des neutrons d'un tel astre se transformaient en hypérons; les calculs théoriques suggéraient alors qu'une étoile à neutrons ne pourrait pas dépasser 1,5 masse solaire. Mais en 2010, Paul Demorest, de l'Observatoire américain de radioastronomie, en Virginie, et son équipe ont découvert une étoile à neutrons de 1,97 masse solaire, ce qui contredisait la prédiction initiale. Aujourd'hui, les physiciens estiment que les hypérons constituent 10% au plus du contenu d'une étoile à neutrons.

De nouvelles et très différentes observations pourraient nous en apprendre encore plus sur les étoiles à neutrons. Depuis des années, les télescopes détectent des flashes de lumière, qu'on nomme des sursauts gamma, dont les chercheurs soupçonnent qu'ils résultent de collisions entre deux étoiles à neutrons. Un tel événement a été confirmé le 17 août 2017: deux dispositifs, *Ligo* (*Laser interferometer gravitational-wave observatory*, installé dans l'État de Washington et en Louisiane) et *Virgo* (près de Pise, en Italie) ont détecté simultanément des ondes gravitationnelles émises par une paire d'étoiles à neutrons spiralant l'une autour de l'autre avant de se percuter violemment et fusionner.

DES INFORMATIONS PAR LES ONDES GRAVITATIONNELLES

Jusqu'à cette date, toutes les ondes gravitationnelles détectées (la première a été enregistrée en 2015) avaient été le résultat de la fusion de deux trous noirs. Or un tel processus n'émet pas de rayonnement électromagnétique, contrairement à la coalescence de deux étoiles à neutrons. L'événement du 17 août 2017 est unique en son genre, pour l'instant, mais la détection de ses ondes gravitationnelles et de ses émissions électromagnétiques par plusieurs télescopes a apporté de nombreuses informations sur la façon dont s'est déroulée la collision. Une aubaine pour étudier la physique des étoiles à neutrons. «J'étais complètement époustoufflé», confie ➤

On estime aujourd'hui qu'une étoile à neutrons ne contient pas plus de 10% d'hypérons

trons intacts à l'intérieur du cœur, ceux-ci agiraient «comme des billes et constitueraient un cœur dur et compact», explique Zaven Arzumian. Le cœur compact aurait tendance à repousser les couches externes et à augmenter la taille de l'étoile dans son ensemble. À l'inverse, si les neutrons se dissolvaient en une soupe de quarks et de gluons, l'étoile serait plus petite, «plus molle et compressible». C'est cette piste qui est explorée avec l'expérience *Nicer*. «L'un des principaux objectifs est de mesurer la masse et le rayon (de l'étoile à neutrons), explique Zaven Arzumian, coresponsable et directeur scientifique de l'expérience *Nicer*, ce qui nous aidera à éliminer certaines théories.»

L'expérience *Nicer* se présente comme une boîte de la taille d'une machine à laver installée à l'extérieur de la *Station spatiale internationale*. Elle scrute plusieurs dizaines de pulsars répartis sur l'ensemble du ciel, et détecte les photons X qui en proviennent. En mesurant les temps d'arrivée et les énergies de ces photons,