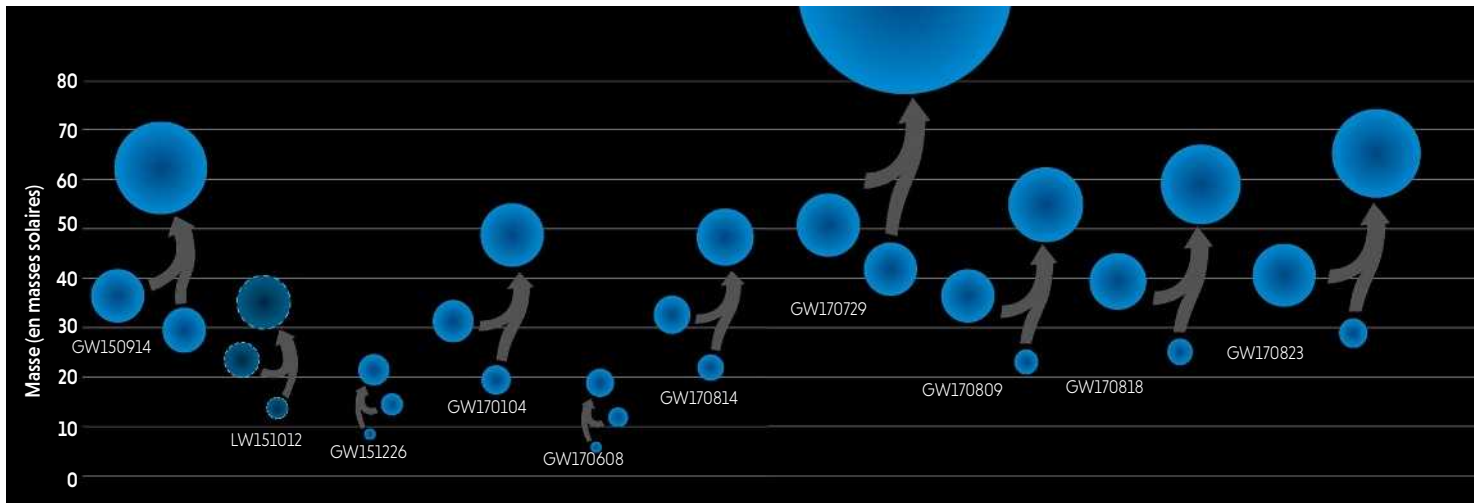




Les interféromètres laser géants *Ligo* et *Virgo* ont détecté neuf coalescences de trous noirs (et peut-être une dixième, en pointillé, ainsi que près de 30 autres candidats en cours d'analyse). La masse des trous noirs progéniteurs est de l'ordre de la dizaine de fois celle du Soleil, ce qui suggère que ces corps ont une origine primordiale plutôt que stellaire.

massives. De tels objets seraient assez gros pour former facilement des étoiles et seraient aisément visibles. Pourtant, ils n'ont pas été trouvés par les astronomes qui fouillent les environs de la Voie lactée. Ce problème a une solution semblable à celle des galaxies naines manquantes : les trous noirs primordiaux massifs présents au cœur des galaxies de taille intermédiaire bloqueraient la formation des étoiles en raison de l'accrétion du gaz et éjecteraient les astres formés. Ces galaxies intermédiaires seraient donc invisibles pour la plupart des relevés.

L'ÉNIGME DES SUPERMASSIFS

Les trous noirs primordiaux résoudraient également la question de l'origine des trous noirs supermassifs. Ces monstres pèsent des millions, voire des milliards, de masses solaires. On les trouve au centre des quasars et des galaxies massives très tôt dans l'histoire de l'Univers, moins d'un milliard d'années après le Big Bang. Pourtant, si ces trous noirs supermassifs se sont formés et ont grossi à partir de trous noirs nés de l'explosion des premières étoiles de l'Univers et à la suite de leurs fusions successives, ils n'ont pas pu acquérir une masse aussi gigantesque en un temps si court.

Dans notre scénario, même si la plupart des trous noirs primordiaux ne dépassent pas quelques dizaines de masses solaires, il en reste une petite fraction qui sont beaucoup plus lourds, entre quelques centaines et quelques dizaines de milliers de masses solaires. Nés moins d'une seconde après le Big Bang, ces objets monstrueux agiraient comme des graines pour la formation des premières galaxies et quasars, et l'accrétion de matière ainsi que l'absorption de trous noirs moins massifs permettraient d'atteindre rapidement les caractéristiques des trous noirs supermassifs.

Ces trous noirs primordiaux pourraient aussi rendre compte de l'existence de trous noirs de taille intermédiaire (entre 1 000 et

1 million de masses solaires) dont on soupçonne l'existence au centre des galaxies naines et des amas globulaires d'étoiles. Ainsi, les trous noirs primordiaux pourraient être le chaînon manquant entre les trous noirs classiques de masse stellaire et les trous noirs supermassifs.

Les preuves observationnelles de ce scénario s'accumulent : des détections récentes de sources de rayons X étonnamment abondantes dans l'Univers primordial s'expliqueraient par de grandes quantités de trous noirs primordiaux produisant des rayons X tandis qu'ils se gavent de gaz, moins d'un milliard d'années après le Big Bang.

Ainsi, les trous noirs primordiaux massifs sont des candidats prometteurs pour la matière noire et apportent des réponses à de nombreux autres problèmes qui tracassent les cosmologistes. Mais il est trop tôt pour conclure. D'autres hypothèses sont encore en lice, et de nouvelles observations fort attendues pourraient en éliminer certaines. Dans les années à venir, plusieurs observations pourraient mettre à l'épreuve le scénario des trous noirs primordiaux (voir l'encadré page 68). Elles incluent la détection des galaxies naines d'ultrafaible luminosité, l'influence des trous noirs primordiaux massifs sur la position des étoiles dans la Voie lactée, la cartographie de l'hydrogène neutre au cours de la première époque de formation stellaire et l'étude des distorsions du fond diffus cosmologique.

Outre ces expériences, nous disposons désormais avec les interféromètres laser géants (*Virgo*, *Ligo*, mais aussi ceux en construction, *Kagra*, au Japon, *Ligo India*, en Inde, et le projet européen du télescope *Einstein*) d'un nouvel outil pour démêler les énigmes cosmiques. L'ensemble de toutes ces observations pourrait confirmer l'existence de trous noirs primordiaux et leur possible lien avec la matière manquante de l'Univers. D'ici à quelques années, nous leverons peut-être le voile sur le mystère de la matière noire. ■

BIBLIOGRAPHIE

T. ABBOTT ET AL., Cosmological constraints from multiple probes in the dark energy survey, *Phys Rev Lett.*, vol. 122(17), art. 171301, 2019.

S. CLESSE ET J. GARCÍA-BELLIDO, The clustering of massive primordial black holes as dark matter : measuring their mass distribution with Advanced Ligo, *Physics of the Dark Universe*, vol. 15, pp. 142-147, 2017.

S. CLESSE ET J. GARCÍA-BELLIDO, Massive primordial black holes from hybrid inflation as dark matter and the seeds of galaxies, *Phys. Rev. D*, vol. 92, art. 023524, 2015.

L'ESSENTIEL

- La matière noire ne cesse d'échapper aux investigations des astronomes.

- Une partie de ce composant essentiel de l'Univers est pourtant connue: ce sont les neutrinos nés lors du Big Bang.

- Leur contribution à la matière est de mieux en mieux cernée grâce à diverses expériences, comme *Katrin*.

- Mais leur détection relève peut-être du rêve inaccessible...

L'AUTEUR



ALAIN RIAZUELO
est chargé de recherche CNRS
à l'institut d'astrophysique de Paris.

Et les neutrinos cosmologiques!

Dans leur quête de la matière noire, les astronomes négligent la contribution des neutrinos nés lors du Big Bang. Ces particules constituent pourtant une part non négligeable de cette composante mystérieuse de l'Univers. Arrivera-t-on un jour à les détecter ?

A

ux premiers instants de l'Univers, l'harmonie régnait. Toutes les particules élémentaires interagissaient dans un bel équilibre et il y avait autant de particules de matière que d'antimatière, et d'un type de particule à l'autre, les proportions étaient fixées, dans un rapport souvent proche de 1. Puis la température baissa... Particules et antiparticules s'annihilèrent, ne laissant qu'un minuscule excès de matière dont nous sommes issus.

Mais une espèce résista, les neutrinos dits «cosmologiques», car nés du Big Bang, et leur *alter ego*, les antineutrinos. Pourquoi? Car leurs interactions cessèrent avant que leur énergie, devenue trop basse, ne les oblige à s'annihiler comme le firent les autres particules. On compte ainsi de nos jours plus d'un milliard de neutrinos et autant d'antineutrinos pour un seul proton. Les neutrinos dominent (en nombre) la matière!

Ces chiffres sont confirmés par l'étude de la nucléosynthèse primordiale: quand quelques

