

masse par cet effet) et une borne inférieure, si l'on prend seulement en compte la probabilité de transformation par l'effet tunnel. Il est alors possible de tirer quelques conclusions.

Si la durée de vie est longue, seuls les plus petits trous noirs primordiaux, de masses comprises entre 10^7 et 10^{12} kilogrammes (ce qui correspond à des masses comprises entre celle du *Titanic* et dix fois celle du barrage des Trois-Gorges, en Chine), sont devenus blancs et seraient observables aujourd'hui. Dans ce cas, la plupart des trous blancs dans le ciel sont de taille minimale (de l'ordre de la longueur de Planck, environ 10^{-35} mètre).

DES TROUS BLANCS POUR LA MATIÈRE NOIRE ?

Ce résultat est une possibilité intéressante, dans la mesure où de tels trous blancs sont assez stables : grâce à des effets quantiques qui les empêchent de perdre toute la matière qu'ils contiennent, leur durée de vie est comparable à celle de l'Univers. Ils contribueraient alors à la matière noire, une composante de l'Univers qui représente cinq à six fois la part de la matière ordinaire, composée d'atomes. De nombreuses observations indirectes attestent de la présence de cette matière noire, mais sa nature reste à déterminer. La plupart des hypothèses envisagées, les « candidats » à la matière noire, impliquent des modifications des lois de la physique bien établies. Par exemple, elles reposent sur des théories qui prédisent l'existence de nouvelles entités, comme les particules supersymétriques ; mais les expériences de détection de ces particules ont échoué à les observer, ce qui met en doute la validité de ces théories.

Le scénario de petits trous blancs (et noirs) constituant la matière noire est relativement peu contraint par les observations. Dans la région entourant le Système solaire, la densité de matière noire serait de 0,01 masse solaire par parsec cube (Proxima du Centaure, l'étoile la plus proche du Soleil, se trouve à 1,3 parsec). Pour satisfaire à cette valeur, il suffirait d'un trou blanc par 10 000 kilomètres cubes.

Si, à l'inverse, la durée de vie des trous noirs est courte, les corps d'origine primordiale se transformant par effet tunnel actuellement auraient une masse comparable à celle d'une petite planète et exploseraient violemment, en transformant une grande partie de leur masse en rayonnement. Un tel événement émettrait de grandes quantités de rayons cosmiques sous la forme de signaux très brefs dans la gamme des microondes ou des ondes radio. Or plusieurs types de phénomènes astrophysiques transitoires restent mal compris, parmi lesquels les sursauts gamma ou les sursauts radio rapides. Diverses explications ont été proposées, mais il n'est pas impossible qu'une fraction de ces événements

Observer la naissance de trous blancs serait une façon de voir la gravité quantique en action

proviennent de la transformation d'un trou noir en trou blanc.

Il existe une signature qui nous permettrait de reconnaître les signaux venant des trous blancs : un décalage vers le rouge, ou *redshift*, « aplati ». Deux phénomènes contribuent à décaler les longueurs d'onde de la lumière d'un astre lointain vers le rouge : l'expansion de l'Univers (plus la lumière vient de loin, et donc de l'Univers jeune, plus elle est décalée vers le rouge) et le décalage gravitationnel (plus l'astre qui émet le rayonnement est massif, plus sa lumière subit un décalage vers le rouge). Or les premiers trous noirs à devenir blancs étaient plus légers que ceux qui se sont transformés plus tard. En conséquence, leur décalage vers le rouge gravitationnel est moindre, mais l'effet de l'expansion est plus fort. En fin de compte, on observerait un « *redshift* aplati » que l'on pourra peut-être mettre en évidence grâce à des analyses statistiques, en accumulant de grandes quantités de données sur les rayons cosmiques ou les sursauts radio rapides.

La découverte d'une preuve de l'existence des trous blancs (dans les rayons cosmiques ou la matière noire) serait une avancée spectaculaire dans notre compréhension du monde. Observer la naissance de trous blancs serait une façon de voir la gravité quantique en action. On ouvrirait ainsi une fenêtre sur l'un des problèmes les plus importants de la physique théorique : comprendre les aspects quantiques de l'espace-temps.

Les idées récentes sur les trous blancs éclairent sous un nouveau jour de nombreux aspects de la physique théorique et de la cosmologie. Pour l'instant, l'hypothèse de la transformation de trous noirs en trous blancs n'a été que peu explorée et de nombreuses questions associées restent ouvertes. Et elles le resteront tant que nous n'aurons pas réussi à identifier un trou blanc. Espérons que cela prendra moins de temps que celui qui a été nécessaire pour nous convaincre de l'existence des trous noirs ! ■

BIBLIOGRAPHIE

A. Ashtekar et al., **Quantum transfiguration of Kruskal black holes**, *Phys. Rev. Lett.*, vol. 121, 241301, 2018.

C. Rovelli et F. Vidotto, **Small black/white hole stability and dark matter**, *Universe*, vol. 4, 127, 2018.

H. M. Haggard et C. Rovelli, **Quantum-gravity effects outside the horizon spark black to white hole tunneling**, *Phys. Rev. D*, vol. 92, 104020, 2015.

C. Rovelli et F. Vidotto, **Planck stars**, *Int. J. Mod. Phys. D*, vol. 23, 1442026, 2014.

M. Bojowald, **L'Univers rebondissant**, *Pour la Science*, n° 375, janvier 2009.