

L'UNIVERS AVANT LE BIG BANG

- 7 dossiers rédigés par des chercheurs et des experts sur le sujet
- Une lecture adaptée sur écrans

3,99 €



Les *Thema* sont une collection de hors-séries numériques. Chaque numéro contient une sélection des meilleurs articles publiés dans *Pour la Science* sur une thématique.

Dans la collection *Thema* découvrez aussi



Pour lire votre numéro, rendez-vous dans votre compte client



boutique.pourlascience.fr/tous-les-numeros/thema.html

L'ESSENTIEL

> Comme les trous noirs, les trous blancs sont des solutions des équations de la relativité générale. Alors rien ne s'échappe d'un trou noir, rien ne pénètre dans un trou blanc.

> Selon la théorie de la gravité quantique à boucles, les trous blancs seraient le destin ultime des trous noirs.

> La matière qui s'est effondrée dans un trou noir ressort de l'astre lorsque celui-ci se transforme en trou blanc.

> S'il n'y a pour l'instant aucune preuve de l'existence des trous blancs, différentes pistes sont explorées en lien avec la matière noire et les rayons cosmiques.

L'AUTEUR



CARLO ROVELLI
professeur à l'université d'Aix-Marseille, chercheur au Centre de physique théorique de Luminy

La chasse aux trous blancs

Les trous blancs ? Des sosies inversés des trous noirs qui expulsent la matière sans jamais en absorber. Ces astres correspondent à certaines solutions des équations de la relativité générale et pourraient être le destin ultime des trous noirs. Leur détection ouvrirait une fenêtre inédite sur la gravitation quantique.

Le 10 avril 2019, l'humanité a admiré pour la première fois une image réelle d'un trou noir : une tache noire entourée d'un anneau brillant et déformé. Grâce à ce « cliché » obtenu par le projet *Event Horizon Telescope* après traitement de données observationnelles, nous avons maintenant une preuve visible et directe de l'existence de ces objets exotiques et extrêmes.

Si l'existence des trous noirs ne fait aujourd'hui guère de doute, de nombreuses décennies ont été nécessaires pour que les physiciens en soient persuadés. Les trous noirs étaient une sorte de curiosité mathématique, une des solutions possibles des équations de la relativité générale d'Einstein, mais sans existence réelle dans l'Univers. En 1972, dans son manuel *Gravitation and Cosmology*, le futur Prix Nobel Steven Weinberg, de l'université du Texas à Austin, qualifiait encore ces objets de « très hypothétiques ».

Les indices de leur réalité physique ont cependant fini par s'accumuler. Dans les

années 1970, les radioastronomes ont détecté des sources de rayonnement électromagnétique, comme Sagittarius A* au centre de la Voie lactée, que l'on a par la suite clairement identifiées comme provenant des disques de gaz et de poussières chauffés à blanc qui s'accumulent autour des trous noirs. Deux décennies plus tard, le statut de trou noir de Sagittarius A* a été confirmé grâce à l'observation d'étoiles évoluant sur des orbites proches du trou noir, ce qui a permis d'estimer sa masse à 4 millions de masses solaires. Plus récemment, les interféromètres laser géants *Ligo* et *Virgo* ont détecté des ondes gravitationnelles, des vibrations de l'espace-temps, dont la forme correspond exactement à celle produite quand deux trous noirs tombent l'un sur l'autre en spiralant jusqu'à fusionner.

Cette histoire de la reconnaissance des trous noirs comme constituants de l'Univers pourrait se répéter avec les trous blancs. Ces astres sont des objets aussi surprenants et exotiques que les trous noirs. Comme ces



La transformation explosive de trous noirs en trous blancs pourrait expliquer certaines observations astrophysiques.

➤ derniers, ils correspondent à certaines solutions des équations de la relativité générale. Pour les décrire de façon très simple, ce sont des trous noirs évoluant à l'envers: des trous noirs dont le film de la vie serait projeté en partant de la fin. Malgré cette différence, pour un observateur extérieur à un tel astre, il est difficile de distinguer un trou blanc d'un trou noir. Les deux sont massifs et dotés d'un champ gravitationnel attractif. Ils peuvent donc tous deux soutenir un disque d'accrétion et être entourés d'objets en orbite. Mais si l'on voyait le «trou» expulser une gerbe de matière, on saurait aussitôt qu'il s'agit d'un trou blanc.

La différence serait tout aussi évidente si, d'aventure, un vaisseau spatial s'approchait du bord d'un tel astre. Dans le cas du trou noir, il pourrait y pénétrer, mais il serait alors piégé par le champ gravitationnel intense, incapable d'en ressortir. Même la lumière est incapable de fuir hors d'un trou noir, d'où son nom. À l'inverse, avec un trou blanc, le vaisseau serait incapable de pénétrer dans l'astre. Lors de son approche, il rencontrerait un flot de matière sortante et il lui faudrait une énergie infinie pour pénétrer dans le trou blanc.

NÉS D'ÉTOILES EN FIN DE VIE

Nous savons comment des trous noirs peuvent naître. Par exemple, lorsqu'une étoile très massive arrive en fin de vie, son «carburant» s'épuise et elle s'effondre sous son propre poids. Dans une explosion gigantesque, une supernova, les couches externes de l'astre sont projetées dans le milieu interstellaire, tandis que son cœur se comprime et devient si dense qu'il forme un trou noir. Ce dernier est délimité par un «horizon» qui marque la frontière à partir de laquelle il est impossible de ressortir.

Quant aux trous blancs, à l'inverse, on imaginait difficilement comment de tels objets pouvaient se former. D'où les doutes sur leur existence. Comme Steven Weinberg pour les trous noirs, Robert Wald, de l'université de Chicago, éminent spécialiste de la relativité générale, a écrit en 1984 dans son livre *General Relativity* qu'il n'y avait pas d'arguments pour penser qu'il existe des trous blancs.

Cependant, un certain nombre de physiciens, dont je fais partie, commencent à prendre au sérieux la possibilité que les trous blancs existent réellement: ils se formeraient à la fin de la vie d'un trou noir. Ce dernier pourrait mourir et se transformer en trou blanc. La matière et l'énergie tombées dans le trou noir réémergeraient alors en sortant du trou blanc.

Cette idée vient naturellement dans le cadre de la théorie sur laquelle je travaille, la «gravitation quantique à boucles». Et elle apporte une réponse à deux questions ouvertes que les physiciens tentent de résoudre depuis des décennies.

La première est: que se passe-t-il au centre d'un trou noir? Les observations astronomiques nous révèlent que de grandes quantités de matière tombent en spirale sur un trou noir. Toute cette matière continue sa chute vers le centre de l'astre. Mais après, peut-elle s'y accumuler à l'infini?

La deuxième question est: que se passe-t-il quand un trou noir termine sa vie? Dans les années 1970, Stephen Hawking a montré que les trous noirs émettent un rayonnement, dit de Hawking (voir l'encadré ci-dessous), ce qui les conduit à perdre lentement leur masse jusqu'à devenir très petits. Que se passe-t-il ensuite? Nul ne le sait.

La relativité générale d'Einstein explique très bien le comportement observé des trous noirs, mais elle est insuffisante pour répondre à ces deux questions. Cette théorie décrit la dynamique de la matière et de l'espace-temps: la matière se déplace en fonction de la géométrie de l'espace-temps, tandis que l'espace-temps se déforme en présence de matière. L'espace-temps n'est donc plus un cadre passif où s'inscrit la réalité: sa géométrie, variable, détermine les mouvements de la matière d'une telle façon qu'on les interprète comme étant

RAYONNEMENT DE HAWKING

La physique quantique implique que le vide est en fait le siège d'une formidable activité: des paires particule-antiparticule apparaissent spontanément et s'annihilent très vite ①. C'est le principe d'incertitude de Heisenberg qui autorise cette violation temporaire de la conservation de l'énergie. En 1974, Stephen Hawking a remarqué que si une paire est créée juste au-dessus de l'horizon d'un trou noir, une particule tombe dans le trou noir tandis que l'autre s'échappe; elles ne peuvent donc plus s'annihiler ②. Pour un observateur lointain, le trou noir semble émettre un rayonnement. Le trou noir perd ainsi de la masse: il s'évapore.

