

POUR LA SCIENCE HORS-SERIE

Édition française de Scientific American

COMPLÉTEZ VOTRE COLLECTION DÈS MAINTENANT!



N° 94 (janv. 17)
réf. DO094



N° 95 (avr. 17)
réf. DO095



N° 96 (août 17)
réf. DO096



N° 97 (nov. 17)
réf. DO097



N° 98 (févr. 18)
réf. DO098



N° 99 (mai 18)
réf. DO099



N° 100 (août 18)
réf. DO100



N° 101 (nov. 18)
réf. DO101



N° 102 (fév. 19)
réf. DO102



N° 103 (avr. 19)
réf. DO103



N° 104 (juil. 19)
réf. DO104



N° 105 (nov. 19)
réf. DO104

RETROUVEZ L'ENSEMBLE DES ANCIENS NUMÉROS SUR BOUTIQUE.POURLASCIENCE.FR/HORS-SERIE.HTML

À retourner accompagné de votre règlement à :

Pour la Science – Service VPC – 19 rue de l'Industrie – BP 90053 – 67402 Illkirch Cedex – email : pourlascience@abopress.fr



OUI, je commande des numéros de Pour la Science Hors-série, au tarif unitaire de 10,90 €.

1 / JE REPORTE CI-DESSOUS LES RÉFÉRENCES à 5 chiffres correspondant aux numéros commandés :

1^{re} réf. _____ x 10,90 € = 01 x 10,90 € = 10,90 €

2^e réf. _____ x 10,90 € = _____ €

3^e réf. _____ x 10,90 € = _____ €

4^e réf. _____ x 10,90 € = _____ €

5^e réf. _____ x 10,90 € = _____ €

6^e réf. _____ x 10,90 € = _____ €

TOTAL À RÉGLER _____ €

Offre valable jusqu'au 31/12/2019 en France Métropolitaine. Pour une livraison à l'étranger, merci de consulter boutique.pourlascience.fr

Les informations que nous collectons dans ce bon de commande nous aident à personnaliser et à améliorer les services que nous vous proposons. Nous les utiliserons pour gérer votre accès à l'intégralité de nos services, traiter vos commandes et paiements et vous faire part notamment par newsletters de nos offres commerciales moyennant le respect de vos choix en la matière. Le responsable du traitement est la société Pour la Science. Vos données personnelles ne seront pas conservées au-delà de la durée nécessaire à la finalité de leur traitement. Pour la Science ne commercialise ni ne loue vos données à caractère personnel à des tiers. Les données collectées sont exclusivement destinées à Pour la Science. Nous vous invitons à prendre connaissance de notre charte de protection des données personnelles à l'adresse suivante : <https://rebrand.ly/charte-donnees-pls>. Conformément à la réglementation applicable (et notamment au Règlement 2016/679/UE dit « RGPD ») vous disposez des droits d'accès, de rectification, d'opposition, d'effacement, à la portabilité et à la limitation de vos données personnelles. Pour exercer ces droits (ou nous poser toute question concernant le traitement de vos données personnelles), vous pouvez nous contacter par courriel à l'adresse protection-donnees@pourlascience.fr.

2 / J'INDIQUE MES COORDONNÉES

☐ M. ☐ Mme

Nom : _____

Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Téléphone _____

J'accepte de recevoir les offres de Pour la Science ☐ OUI ☐ NON

3 / JE CHOISIS MON MODE DE RÈGLEMENT

☐ Par chèque à l'ordre de Pour la Science

☐ Carte bancaire

N° _____

Date d'expiration _____

Clé (les 3 chiffres au dos de votre CB) _____

Signature obligatoire : _____

Groupe Pour la Science – Siège social : 170 bis, boulevard du Montparnasse, CS20012, 75680 Paris Cedex 14 – Sarl au capital de 32000 € – RCS Paris B 311 797 393 – Siret : 311 797 393 000 23 – APE 5814 Z



PLUS SIMPLE, PLUS RAPIDE
ABONNEZ-VOUS SUR BOUTIQUE.POURLASCIENCE.FR

L'ESSENTIEL

● La nature de l'hypothétique matière noire qui assure, par sa masse, la cohésion gravitationnelle des galaxies reste inconnue.

● Des trous noirs dits «primordiaux», formés peu de temps après le Big Bang,

constituent un candidat au titre de matière noire.

● Les détecteurs d'ondes gravitationnelles ont mis en évidence des trous noirs dont les caractéristiques s'accordent avec cette hypothèse.

LES AUTEURS



JUAN GARCÍA-BELLIDO est physicien théoricien et professeur à l'institut de physique théorique de Madrid, en Espagne.



SÉBASTIEN CLESSE est chargé de recherche FNRS à l'université de Namur et à l'université catholique de Louvain, en Belgique.

La piste des trous noirs

De quoi est faite la masse manquante de l'Univers ?

Des observations récentes soutiennent l'hypothèse des trous noirs primordiaux, des objets nés moins d'une seconde après le Big Bang, bien avant les étoiles.



Vue d'artiste d'une coalescence de deux trous noirs. Les observations des interféromètres *Ligo* et *Virgo* suggèrent que ces trous noirs pourraient être primordiaux et constituer une part importante de la matière noire.

© Ligo/Caltech/MIT/Sonoma State (Aurore Simonnet)

I

l y a plus d'un milliard d'années, dans l'Univers lointain. Deux trous noirs tournent l'un autour de l'autre et se rapprochent progressivement. Cette spirale mortelle se soldera par une collision d'une extrême violence, la fusion des deux astres. Le choc a secoué la trame de l'espace-temps, émettant des perturbations qui se sont propagées à la vitesse de la lumière dans toutes les directions. Et en septembre 2015, elles ont atteint la Terre et fait vibrer les interféromètres laser géants du complexe de détection *Ligo*, aux États-Unis. C'était la première fois que les physiciens détectaient directement des ondes gravitationnelles !

À partir du signal capté par *Ligo*, les physiciens ont calculé que chacun des deux trous noirs impliqués dans la fusion était environ trente fois plus massif que le Soleil, soit le double ou le triple de la masse des trous noirs ordinaires, qui naissent de l'explosion en supernova d'étoiles massives. Dès lors, difficile d'imaginer que les deux trous noirs aient pu se former ainsi. De plus, même en admettant qu'ils sont nés de façon indépendante lors de la mort d'étoiles massives, comment ont-ils pu se rencontrer dans l'immensité du cosmos et former un système binaire ?

LE MYSTÈRE S'ÉCLAIRCIT

Répondre à cette question pourrait bien aider à résoudre l'un des mystères de l'Univers : la nature de la matière noire, qui représente 85% de la matière de l'Univers. Cette matière noire a été imaginée pour expliquer la cohésion des galaxies et des amas galactiques. Car il semble que les galaxies tournent trop vite pour être maintenues gravitationnellement par la seule masse de la matière visible que nous observons dans ces galaxies. La matière noire apporterait le supplément d'attraction empêchant les galaxies en rotation d'éjecter le gaz et les étoiles de leurs régions les plus externes. Le problème est que l'on ignore tout de la nature de cette matière noire...

Les observations de *Ligo* suscitent un regain d'intérêt pour l'une des nombreuses pistes envisagées par les physiciens, celle des trous noirs « primordiaux », des trous noirs antérieurs à la formation des étoiles elles-mêmes et dont le >

➤ mécanisme de formation, plus exotique, ne fait donc intervenir aucune étoile.

Bien que ces hypothétiques trous noirs primordiaux n'aient jamais été observés, certains modèles théoriques suggèrent qu'ils se seraient formés en grand nombre dans le plasma dense et brûlant qui remplissait le cosmos moins d'une seconde après le Big Bang.

Les deux trous noirs massifs à l'origine des ondes gravitationnelles détectées par *Ligo* seraient-ils de tels trous noirs primordiaux ? Les futures observations de *Ligo* et d'autres observatoires, tel *Virgo*, en Italie, mettront bientôt cette idée à l'épreuve. Notre compréhension de l'Univers pourrait alors connaître une révolution. Au-delà de la détection des ondes gravitationnelles, ce serait quelque chose d'encore plus extraordinaire !

LA MARCHÉ DES MACHOS

De prime abord, les trous noirs sont de bons candidats à la matière noire puisqu'ils n'émettent pas de lumière. De fait, ils appartiennent à une classe de candidats proposés dans les années 1980 et nommés « machos » (acronyme de *massive compact halo objects*). En plus des trous noirs, les machos incluent aussi les planètes et les naines brunes (étoiles trop peu massives pour déclencher les réactions de fusion de l'hydrogène). Présents à la fois dans les halos sphériques entourant les galaxies et à proximité du centre lumineux de chaque galaxie, les machos produiraient le surplus d'attraction gravitationnelle requis pour expliquer le mouvement du gaz et des étoiles.

Quelle que soit sa nature, machos ou autres, la matière noire se manifeste à différentes échelles dans l'Univers. Elle influe sur la dynamique des galaxies et des amas de galaxies, mais elle a aussi contribué à la naissance de ces structures. Elle a déterminé où et à quelle vitesse grandissent les galaxies ainsi que les amas et superamas de galaxies. Ces objets se sont en effet formés à partir de l'accumulation de gaz vers le centre de grands nuages de matière noire. Les cosmologistes ont cartographié avec précision la distribution spatiale de ces grumeaux de matière au moyen des relevés de galaxies. Et ils ont relié l'émergence de ces structures aux minuscules variations de température du fond diffus cosmologique, la lueur résiduelle du Big Bang qui imprègne tout l'Univers et dont les caractéristiques ont été mesurées avec précision.

Par ailleurs, la matière noire se manifeste aussi par des effets dérivés de la relativité générale. La masse diffuse de la matière noire des galaxies et des amas galactiques contribue à courber l'espace et à dévier la lumière des objets lointains, un phénomène de lentille gravitationnelle que les astronomes observent partout dans le ciel.

Si la plupart des physiciens sont convaincus que la matière noire existe bel et bien, l'hypothèse des machos est tombée en disgrâce il y a près d'une décennie, leur recherche expérimentale indirecte ayant fait chou blanc. En particulier, les astronomes les ont recherchés par le biais des effets de microlentille, une variante des lentilles gravitationnelles où un trou noir, une naine brune ou même une simple planète passe devant une étoile lointaine et amplifie momentanément la lumière de cet astre distant.

Aucun des programmes d'observation par microlentilles portant sur des millions d'étoiles des Grand et Petit Nuages de Magellan, les principales galaxies satellites de la Voie lactée, n'ont pu prouver que les machos constituaient une grande portion du halo galactique. Plus précisément, les physiciens ont exclu les machos de masses inférieures à 10 masses solaires comme constituants principaux de la matière noire. Et tandis que ces relevés étaient effectués, les scientifiques ont développé des arguments en faveur d'une autre hypothèse, les « wimps » (*weakly interacting massive particles* ou « particules massives interagissant faiblement »).

**De prime abord,
les trous noirs
sont de bons
candidats à la
matière noire**

Ces particules sont prédites de façon naturelle dans des extensions du modèle standard de la physique des particules, mais elles restent au moins aussi insaisissables que les machos. À ce jour, aucune détection n'a été confirmée, en dépit de décennies de recherche au moyen d'accélérateurs de particules, de détecteurs souterrains et de télescopes spatiaux. Les résultats négatifs s'accumulant pour les wimps, des chercheurs ont commencé à reconsidérer l'hypothèse des machos, en se concentrant en particulier sur les trous noirs primordiaux. Mais si ces objets peuplent en grand nombre l'Univers, il fallait expliquer comment ils ont pu échapper si longtemps à la détection.

Dès les années 1970, les physiciens Stephen Hawking, Bernard Carr et George Chapline ont ➤