

MINI TROUS NOIRS

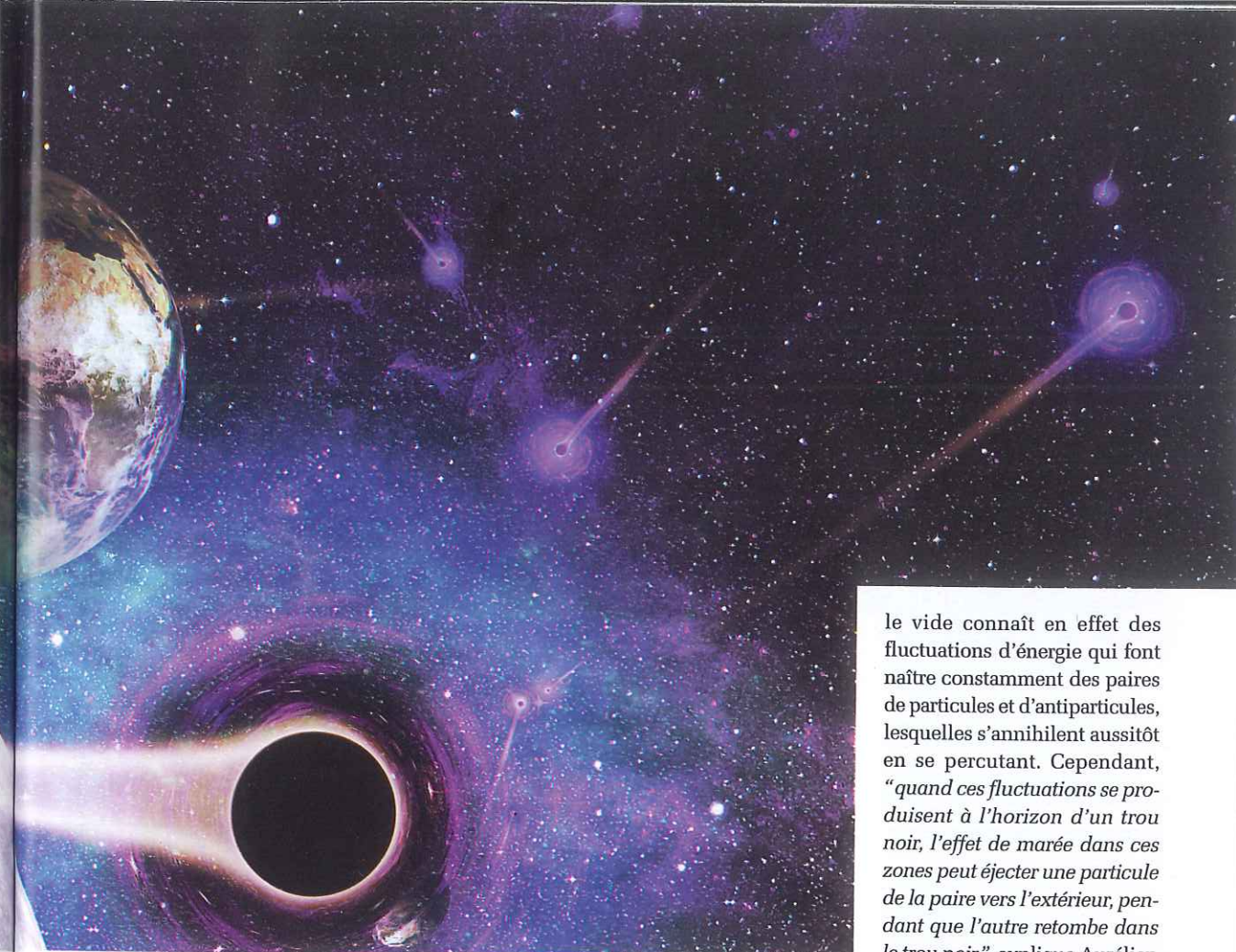
LA VOIE ROYALE VERS

Dans la famille des trous noirs, ceux d'une masse intermédiaire, aussi lourds qu'une comète, sont les moins célèbres... mais les plus recherchés. C'est que, forgés lors du big bang, ils seraient les plus vieux objets de l'Univers! Un Graal pour les astrophysiciens, qui ont démarré la traque.

PAR ANNE DEBROISE

Depuis quelques mois, la traque s'intensifie. Une traque vertigineuse, à côté de laquelle la recherche d'une aiguille dans une botte de foin ressemble à une aimable plaisanterie. Car il s'agit de découvrir, perdus dans l'espace immense et ténébreux, des astres encore plus sombres que lui et, qui plus est, minuscules. Quels astres? Il s'agit de trous noirs, mais pas n'importe lesquels! Ni supermassifs, à l'instar de celui qui trône au centre de notre galaxie, ni stellaires, tels ceux qui se forment lors de l'effondrement d'une étoile, ceux-là se révèlent être

plus petits qu'un atome, et pourtant aussi lourds qu'une montagne. Or, ces "mini-trous noirs" pourraient se balader par millions dans notre système solaire, et par milliards de milliards dans notre galaxie... Surtout, ils sont d'un intérêt prodigieux. Et pour cause: ces mini-trous noirs seraient les plus vieux objets de tout l'Univers! Parce qu'ils auraient été forgés juste après sa création, dans les toutes premières fractions de la première seconde après le big bang. Une période dont on ne sait pas grand-chose, sinon que toute la suite en dépend... En un mot, ces mini-



LE BIG BANG

astres errants seraient les seuls témoins de la genèse cosmique à une échelle jusqu'ici inaccessible. Sur le papier du moins. Car, pour l'heure, nul n'en a jamais observé. *"La compréhension des mini-trous noirs primordiaux est l'un des enjeux théoriques majeurs de ces trente dernières années, assure Aurélien Barrau, du Laboratoire de physique subatomique et de cosmologie de Grenoble. Leur découverte représenterait une avancée considérable."*

WWW.ILLUSTRE.FR

Depuis leur apparition dans les équations de la théorie de la relativité générale d'Einstein, les membres de la famille

des trous noirs (voir p. 77) ont suscité l'étonnement, la peur ou la fascination. Ils se comportent tous de la même façon: dans ces corps, la matière se trouve tellement comprimée et la gravité devient tellement forte que l'espace-temps se déforme tout autour de sorte que plus rien, ni matière, ni rayonnement, ne semble pouvoir en sortir.

DES "OGRES" ÉPHÉMÈRES

Le physicien britannique Stephen Hawking démontra en 1974 que cela n'est pas tout à fait vrai: les trous noirs s'évaporent. A de toutes petites dimensions de temps et d'espace,

le vide connaît en effet des fluctuations d'énergie qui font naître constamment des paires de particules et d'antiparticules, lesquelles s'annihilent aussitôt en se percutant. Cependant, *"quand ces fluctuations se produisent à l'horizon d'un trou noir, l'effet de marée dans ces zones peut éjecter une particule de la paire vers l'extérieur, pendant que l'autre retombe dans le trou noir"*, explique Aurélien Barrau. Résultat: peu à peu, l'ogre se vide de sa matière.

Les premiers spécimens identifiés parmi ces monstres cosmiques furent les trous noirs stellaires, qui proviennent de l'effondrement gravitationnel d'une grosse étoile. Puis furent découverts les trous noirs supermassifs, tapis au cœur de quasiment toutes les galaxies, lourds de milliards de masses solaires. A l'opposé, en se basant sur des théories spéculatives autorisant des dimensions spatiales supplémentaires, les physiciens ont imaginé l'existence de micro-trous noirs, pas plus lourds qu'un cheveu et cent milliards de milliards de fois plus petits qu'un noyau atomique. Des corps très éphémères: alors qu'il faut attendre un temps →

UNE MENACE POUR LA TERRE ?

Aurait-on trouvé un ogre à notre mesure ? En 2008, le nouvel accélérateur de particules du Cern avait suscité l'émoi, certains craignant qu'un micro-trou noir issu de ces collisions engloutisse par gravité toute la Terre. Une frayeur déplacée pour des objets beaucoup plus petits que les particules élémentaires et très éphémères. Mais qu'en est-il des mini-trous noirs primordiaux ? Avec ces

corps lourds comme une montagne, le scénario de l'aspiration ne semble plus impossible. Massimo Ricotti rassure : "Ces mini-trous noirs se déplacent à une vitesse de l'ordre de 200 km/s; ils vont trop vite pour être capturés par la Terre. Même si l'un d'entre eux la traversait, il ne pourrait pas absorber de la matière à une vitesse suffisante pour être dangereux. Il ne laisserait probablement aucune trace de son passage." Tant pis pour les amateurs de sueurs froides...

→ fantastiquement supérieur à l'âge de l'Univers pour que se vident les trous noirs stellaires ou supermassifs, les micro-trous noirs, eux, disparaissent en une fraction de seconde.

NÉS AU CŒUR DU BIG BANG

Depuis plus de quarante ans, on soupçonne l'existence d'un autre membre de cette famille turbulente. Sans doute moins connu du grand public, le mini-trou noir est peut-être encore plus fascinant... C'est un physicien russe, Yakov Zeldovich, qui, en 1967, imagina pour la première fois son existence. D'après ses calculs, la densité qui régnait juste après le big

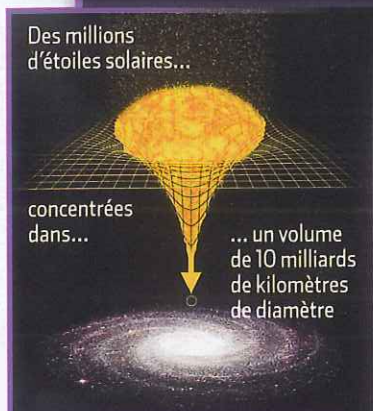
bang pouvait être suffisante pour que la matière, par endroits, s'effondre sur elle-même. Quelques années plus tard, Stephen Hawking et son collègue Bernard Carr définirent les mécanismes permettant un tel processus. "Les premières phases d'expansion de l'Univers sont marquées par des transitions brutales de température et de composition au cours desquelles apparaissent certaines particules", explique Massimo Ricotti, astronome à l'université du Maryland. Mais, comme lorsque l'eau liquide se change en glace, la transition n'est pas uniforme. Il y a des fluctuations



AURÉLIEN BARRAU

LABORATOIRE DE PHYSIQUE SUBATOMIQUE ET DE COSMOLOGIE, GRENOBLE

La compréhension des mini-trous noirs est l'un des enjeux théoriques majeurs de ces 30 dernières années



LES SUPERMASSIFS

DIAMÈTRE DE L'HORIZON

Entre un million et des milliards de kilomètres

MASSE

Entre un million et des milliards de masses solaires

LIEU

Au centre des galaxies

ORIGINE

Expansion de trous noirs stellaires ou collision de galaxies

EXISTENCE CONFIRMÉE

Oui

DURÉE DE VIE

Quasi infinie

qui favorisent la formation de mini-trous noirs."

D'après ces modèles, les premiers trous noirs pourraient être apparus dès le "temps de Planck", cette période de 10^{-43} seconde après le temps zéro du big bang, qui est la limite au-delà de laquelle les théories physiques ne peuvent pas remonter. Ces premiers spécimens auraient cependant une taille comparable à celle des micro-trous noirs, et auraient donc disparu en moins de temps qu'il n'en faut pour le dire. Sauf qu'au fur et à mesure, les trous noirs naissants auraient été de moins en moins nombreux, mais de plus en plus gros. A 10^{-21} seconde après le

S.FRAPPAT - WWW.ILLUSTRER.FR

MINI-TROU NOIR : LE 3^e REJETON DE LA FAMILLE



LES STELLAIRES

DIAMÈTRE DE L'HORIZON

De quelques kilomètres à quelques dizaines de kilomètres

MASSE

Entre 3 et 100 fois la masse du Soleil

LIEU

A l'emplacement d'anciennes étoiles

ORIGINE

Effondrement d'une étoile

EXISTENCE CONFIRMÉE

Oui

DURÉE DE VIE

Quasi infinie



LES "MINI"

DIAMÈTRE DE L'HORIZON

Entre 1 et 100 millièmes de milliardième de mètre

MASSE

De 1 à 100 milliards de tonnes

LIEU

Sans doute partout dans l'Univers

ORIGINE

Big bang, voire pré-big bang

EXISTENCE CONFIRMÉE

Non

DURÉE DE VIE

D'une fraction de seconde à plusieurs milliards d'années



LES "MICRO"

DIAMÈTRE DE L'HORIZON

Un centième de milliardième de milliardième de milliardième de mètre

MASSE

10 millièmes de gramme

LIEU

Sur Terre, dans les étoiles, etc.

ORIGINE

Collision de particules

EXISTENCE CONFIRMÉE

Non

DURÉE DE VIE

Une fraction de seconde

big bang, quand la probabilité de formation de ces corps devient très faible à cause de la dilution de la matière dans un espace de plus en plus vaste, les trous noirs auraient atteint la masse de 100 milliards de tonnes – soit le poids d'une boule de plomb de 3 km de diamètre. Avec une telle masse, le phénomène d'évaporation est si lent que ces objets n'auraient pas encore eu le temps de disparaître. Il pourrait ainsi exister autour de nous toute une population de ces mini-trous noirs primordiaux, certains sur le point de s'évaporer, quand d'autres ont encore la masse d'une grosse météorite concentrée en un minuscule point.

Or, les astrophysiciens ont aujourd'hui les moyens de repérer ces astres. Jane MacGibbon, de l'université de Caroline du Nord (Jacksonville), s'est ainsi lancée activement dans

comment les distinguer parmi les nombreuses flambées de rayons gamma de l'Univers ? Facile: ce sont les seuls dont l'émission s'intensifie au fur et à mesure de l'explosion.

TÉMOINS DE LA GENÈSE DE L'UNIVERS, ILS POURRAIENT EN LIVRER LES SECRETS

leur recherche. "A la fin de son existence, un trou noir explose en émettant des rayons gamma, indique-t-elle. La meilleure chance de les observer repose donc sur les télescopes à rayonnement gamma comme Fermi, un télescope spatial lancé par la Nasa il y a trois ans." Mais

comment les distinguer parmi les nombreuses flambées de rayons gamma de l'Univers ? Facile: ce sont les seuls dont l'émission s'intensifie au fur et à mesure de l'explosion. Ce n'est pas la seule piste: en s'évaporant, les mini-trous noirs émettent des quantités égales de matière et d'antimatière. Et si l'émission de matière passe inaperçue, Aurélien Barrau a démontré que l'émission d'antiprotons, un phénomène beaucoup plus rare dans l'Univers, serait suffisamment importante pour être repérée. Le détecteur d'antimatière AMS, installé sur la Station spatiale internationale en mai dernier, pourrait ainsi repérer ces →

→ minuscules vagabonds. Une perspective fascinante. Car les trous noirs primordiaux gardent la mémoire de ces temps *a priori* inaccessibles où tout s'est joué. En vrac : l'inflation gigantesque que connaît l'Univers à partir de 10^{-35} seconde, son refroidissement, l'apparition des premières briques de la matière actuelle (quarks et antiquarks) vers 10^{-32} seconde, la naissance des quatre forces qui gouvernent la matière, la disparition de l'antimatière...

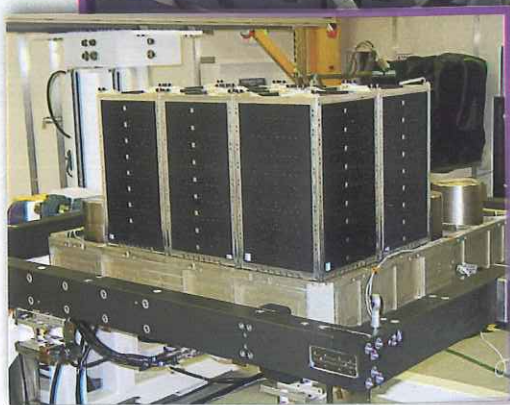
ATTEINDRE "L'INACCESSIBLE"

Massimo Ricotti, de son côté, a récemment montré que la présence de mini-trous noirs aux temps primordiaux "augmenterait l'abondance d'hydrogène primordial. Et pas qu'un peu : celle-ci pourrait être multipliée par 100. Avec, pour conséquences, un Univers qui se refroidit plus vite, et des étoiles et des galaxies qui apparaissent plus tôt". Certains avancent même que ces astres pourraient constituer la fameuse "matière noire" imaginée par les physiciens pour expliquer la masse manquante de l'Univers.

Encore plus impressionnant, mais aussi plus spéculatif : Bernard Carr, qui fut à l'origine de leur description, vient de démontrer qu'ils pourraient avoir existé avant... le big bang ! Impensable ? Pas si sûr : car le physicien se place dans l'hypothèse, très sérieusement étudiée, d'un Univers qui rebondit, le nôtre étant issu d'un précédent qui se serait effondré en "big crunch" avant de connaître une phase d'expansion. Dans ces conditions, nos mini-trous noirs pourraient avoir traversé le big bang en gardant leur individualité. Ce ne seraient alors plus seulement les objets les plus

JARGON

Le big bang est le scénario qui explique la naissance de notre univers, il y a 13,7 milliards d'années, par une dilatation extrêmement rapide de l'espace. Imaginé dès les années 1920, ce scénario repose sur trois observations : l'expansion de l'Univers, la proportion d'atomes qu'il renferme et le rayonnement fossile dans lequel il baigne.



« Grâce au télescope à rayons gamma Fermi (à g.) et au détecteur d'antimatière AMS, installé sur la Station spatiale internationale (en haut), les astrophysiciens ont désormais les moyens de rechercher dans l'espace les fameux mini-trous noirs.

« milliardième de la masse de l'Univers. » Ce qui fait malgré tout (potentiellement) des milliards de milliards de trous noirs primordiaux dans une galaxie comme la Voie lactée... "Même si nous apprenions que les mini-trous noirs n'existent pas, cela serait très instructif, souligne Aurélien Barrau. Car cette découverte signifierait par exemple que les fluctuations à l'origine de l'Univers étaient très faibles, trop pour créer des trous noirs. Nous aurions ainsi une meilleure image de tout ce qui s'est passé à des distances très petites, normalement inaccessibles avec les paramètres d'observation classiques de la cosmologie !"

vieux qu'il nous ait été donné de voir : ils seraient même plus vieux que l'Univers lui-même ! Une perspective sidérante qui touche carrément aux frontières de la science : le chercheur lui-même émet des doutes sur notre capacité à déterminer si un mini-trou noir est né avant ou après le big bang...

Ce ne sont de toute façon pas les équations qui font actuellement rêver les astrophysiciens, mais les observations. Et, pour l'heure, ces mini-trous noirs sont restés indétectables. Ce qui permet déjà de tirer quelques conclusions, selon Aurélien Barrau : "Si nous n'en voyons pas avec la résolution actuelle de nos moyens de détection, c'est que leur densité est finalement extrêmement faible. D'après nos calculs, ils représentent moins d'un

NASA

LA RÉVOLUTION KINECT

4 IDÉES QUI CHANGENT TOUT

On le sait : avec Kinect, pas besoin de manette, on joue avec son corps... L'accessoire high tech dédié à la Xbox 360 va encore plus loin avec la commande vocale qui permet de jouer mais aussi, de regarder la télé, juste en lui parlant !



Programmes TV, vidéos, films en VOD, musique, jeux en ligne, tchat... d'un mot, Kinect donne accès au meilleur du web.

1 Pas besoin de manette c'est interactif, fun, et transgénérationnel

On connaissait Kinect pour sa caméra à détecteur de mouvements qui permet de jouer sans manette, juste en bougeant. Kinect s'enrichit à la fin de l'année d'une nouveauté : obéir à la voix. Ne pas avoir besoin d'appuyer sur un bouton est bien sûr un avantage énorme ! Apprendre la dernière danse tendance, parfaire son swing de golf : on joue avec son corps, on contrôle à la voix, ce qui rend le jeu totalement intuitif. Tout le monde s'amuse !

2 Dites « jouer » ou « regarder L'Arnacœur », Kinect obéit...

La magie de la reconnaissance vocale change tout. Allongé sur son canapé,

on ordonne, Kinect exécute... Naviguer dans les applications, mettre sur « pause », passer d'un jeu au visionnage d'un film : tout se fait d'un mot. Le jeu vidéo devient totalement interactif, tout comme l'accès à la TV : pour la première fois sans télécommande !

3 Films et séries, vidéo, tchat... on accède au meilleur du web

Autre fonctionnalité épatante, Kinect donne accès au meilleur du web. Avec CANAL+, Allociné, YouTube, Dailymotion, ou le très large catalogue de VOD (vidéo à la demande), on accède au meilleur du divertissement. Et l'on peut aussi tchatter avec ses amis, via Messenger, jouer en réseau et télécharger des jeux... Pour plus d'infos : www.xbox.com/live

4 Les nouveaux jeux « pur bonheur »

Une nouveauté : Kinect Disneyland Adventures qui a bien sûr pour décor le célèbre parc Disney reproduit dans ses moindres détails. It's a small world, Space Mountain, Pirates des Caraïbes... 18 attractions mythiques s'invitent chez nous autour de 100 défis et mini-jeux, en compagnie de Nemo, Peter Pan, Blanche-Neige, Mickey, Buzz l'Éclair (il y a 35 personnages !).

On ne rate pas non plus Les Lapins Crétins partent en Live qui utilise la nouvelle reconnaissance vocale Kinect.

A la voix ou d'un geste, on interagit avec ces déliants lapins et on les accueille même à la maison grâce à l'étonnante « réalité augmentée » qui leur donne vie juste à côté de nous. Bodybuilding, concours de air-guitar... les 45 mini-jeux inédits sont jouables seul, à 2 ou 4.

Une idée pour Noël ?

Le pack « tout en un » qui comprend la console Xbox 360 4Go, le capteur Kinect, 2 jeux et 3 mois d'accès au Xbox LIVE Gold. Pour en savoir plus www.xbox.com/kinect



Photos : DR, Visuels non contractuels.