

ABONNEZ-VOUS À POUR LA SCIENCE

OFFRE
SPÉCIALE
NOËL

FORMULE
INTÉGRALE
-46%



99€

FORMULE
PASSION
-33%



79€

FORMULE
DÉCOUVERTE
-33%



59€



EN CADEAU AVEC VOTRE ABONNEMENT LE LIVRE "RELATIVITÉ ET QUANTA : UNE NOUVELLE RÉVOLUTION SCIENTIFIQUE..."

LHC, particules, trous noirs, cosmologie... Enfin un point clair et concis sur la dernière révolution scientifique ! Ces trois dernières années, les moissons scientifiques ont été exceptionnellement fructueuses, de la découverte du boson de Higgs à celles des ondes gravitationnelles émises lors de la coalescence de deux trous noirs massifs, et aux observations du fond cosmologique par le satellite Planck. L'humanité vient alors d'atteindre un nouveau palier dans la compréhension du monde quantique et du monde de la gravitation : nos bases théoriques, expérimentales et technologiques forment un socle scientifique solide pour aller plus loin et tenter de répondre aux nouvelles questions qui surgissent suite à ces découvertes... Enquête et mise au point sur une révolution en cours.



BULLETIN D'ABONNEMENT

À renvoyer accompagné de votre règlement à : Pour la Science - Service abonnements - 19 rue de l'industrie - BP 90 053 - 67 402 Illkirch cedex

☐ OUI, JE M'ABONNE À **POUR LA SCIENCE** POUR 1 AN, JE CHOISIS MA FORMULE CI-DESSOUS :

☐ FORMULE **INTÉGRALE**

12 n° de *Pour la Science*
+ 4 Hors-Séries
+ Accès illimité aux archives en ligne depuis 1996
+ Le livre "Relativité et quanta : une nouvelle révolution scientifique..."

11A99EK4

99€
Au lieu de 183,45€*

☐ FORMULE **PASSION**

12 n° de *Pour la Science*
+ 4 Hors-Séries
+ Le livre "Relativité et quanta : une nouvelle révolution scientifique..."

PIA79EK2

79€
Au lieu de 118,45€*

☐ FORMULE **DÉCOUVERTE**

12 n° de *Pour la Science*
+ Le livre "Relativité et quanta : une nouvelle révolution scientifique..."

D1A59EK2

59€
Au lieu de 88,45€*

J'INDIQUE MES COORDONNÉES

☐ M. ☐ Mme

Nom : _____ Prénom : _____

Adresse : _____

Code postal _____ Ville : _____

Téléphone _____

• Mon e-mail : (à remplir en majuscule) _____@_____

J'accepte de recevoir les informations de *Pour la Science* ☐ OUI ☐ NON
et de ses partenaires ☐ OUI ☐ NON

• Je choisis mon mode de règlement :

☐ Par chèque à l'ordre de *Pour la Science*

☐ Par carte bancaire

N° _____

Date d'expiration : _____ Clé (Les 3 chiffres au dos de votre CB) : _____

Signature obligatoire

* Par rapport au prix de vente en kiosque, l'accès numérique aux archives et la valeur du livre. Vous pouvez également si vous le souhaitez acquérir séparément le livre "Relativité et quanta : une nouvelle révolution scientifique..." au prix de 10€, chaque n° de *Pour la Science* au tarif de 6,50€, notre n° spécial au tarif de 6,95€ et nos hors-séries au tarif de 7,50€. Délai de livraison : dans le mois suivant l'enregistrement de votre règlement. Offre réservée aux nouveaux abonnés, valable jusqu'au 31/03/2018 en France métropolitaine uniquement et dans la limite des stocks disponibles. Pour un abonnement à l'étranger, merci de consulter notre site www.pourlascience.fr. Conformément à la loi "Informatique et libertés" du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant en adressant un courrier à *Pour la Science*. Photos non contractuelles.

L'ESSENTIEL

> Au centre de certaines galaxies se cachent des trous noirs supermassifs.

> Une étoile passant trop près d'un tel trou noir sera déchiquetée par les forces de marée. En tombant dans le trou noir, la matière stellaire, soumise à de fortes frictions, chauffe et brille intensément.

> Cette fin stellaire est visible loin dans l'Univers. De nouveaux télescopes, dits à grand champ, permettent aux astronomes d'étudier en détail ces événements cataclysmiques.

> En observant de tels épisodes, les chercheurs espèrent mieux comprendre comment les trous noirs croissent et évoluent.

LES AUTEURS



BRADLEY CENKO
astrophysicien au centre de vol spatial Goddard de la Nasa et professeur à l'université du Maryland



NEIL GEHRELS
ancien directeur du laboratoire de physique des astroparticules au centre de vol spatial Goddard de la Nasa

Le trou noir dévoreur de soleils

LORSQU'UNE ÉTOILE S'APPROCHE TROP D'UN TROU NOIR SUPERMASSIF, ELLE EST HAPPÉE ET FINIT DÉCHIQUETÉE DANS UNE EXPLOSION DE LUMIÈRE. UN CATACLYSME COSMIQUE QUE L'ON DÉTECTE DEPUIS PEU ET QUI EST RICHE EN INFORMATIONS SUR CES OGRES TAPIS AU CENTRE DES GALAXIES.



Vue d'artiste
d'une étoile déchirée
par les forces
de marée qu'exerce
sur elle un trou noir
supermassif.

Au cœur de la Voie lactée et de presque toutes les grandes galaxies spirales réside une énigme cosmique : un trou noir supermassif. Personne ne sait vraiment expliquer comment de tels objets, qui concentrent des millions, voire des milliards de fois la masse du Soleil dans une région plus petite que le Système solaire, ont pu se former. Mais en étudiant de près leur comportement et leur évolution, les astrophysiciens espèrent élucider les secrets de la naissance et de l'évolution des galaxies elles-mêmes.

L'obstacle majeur à l'étude des trous noirs est le fait que ces objets n'émettent pas de lumière. En effet, d'après la théorie de la relativité générale, ils courbent l'espace-temps à un tel point que rien ne peut s'en échapper, pas même la lumière. Les trous noirs passent donc l'essentiel de leur temps dans un état endormi, où ils sont invisibles à nos yeux. Mais parfois, ils prennent vie lorsqu'ils « s'alimentent ». Quand de la matière passe trop près du trou noir, elle est piégée et fortement accélérée par les forces gravitationnelles de celui-ci. Et si le mets est de taille non négligeable, les agapes qui s'ensuivent se voient de très loin. Mais ces repas sont très rares : la majeure partie du gaz, de la poussière et des étoiles qui tournent autour du trou noir supermassif occupe des orbites stables et ne sera jamais consommée.

Depuis cinquante ans, les astrophysiciens ont essentiellement observé un seul type de trous noirs en train de faire bombance : les quasars. Découverts par l'astronome néerlandais Maarten Schmidt en 1963, les quasars sont les centres ultraluminescents de galaxies actives, visibles depuis les confins de l'Univers, et brillant chacun davantage que des milliards de soleils. On pense qu'ils correspondent à des nuages massifs de gaz et de poussière qui plongent sur un trou noir supermassif : cette matière se comprime, chauffe et en luit tandis qu'elle décrit des spirales de plus en plus proches du trou noir, cette plongée pouvant durer des centaines de milliers ou des millions d'années.

Mais les quasars sont loin d'être des objets d'étude idéaux. Ces événements extrêmes sont rares et souvent lointains. Et ils ne sont représentatifs que d'une petite fraction de la vie d'un trou noir supermassif. Ils n'en livrent qu'un aperçu limité et laissent les astronomes dans l'inconnu quant à la façon dont les trous noirs supermassifs se comportent, se nourrissent et évoluent la plupart du temps.

Il existe cependant d'autres moyens d'étudier les trous noirs supermassifs. Une méthode consiste à chronométrer les étoiles en orbite rapprochées qui filent à toute vitesse autour de ces trous noirs. Mais, pour que les télescopes

actuels puissent distinguer des étoiles individuelles, ces mesures ne sont envisageables que pour des trous noirs supermassifs suffisamment proches (au cœur de la Voie lactée ou dans l'une des galaxies voisines).

En 1988, l'astronome britannique Martin Rees a proposé une troisième façon d'étudier les trous noirs supermassifs, qui a récemment commencé à porter ses fruits. Au lieu de traquer la lueur stable des quasars ou la vitesse des étoiles en orbite, les astronomes peuvent guetter de brefs et intenses sursauts de lumière au voisinage d'un trou noir. Ces « événements de destruction par effet de marée » ou TDE (pour *tidal disruption events*) se produisent lorsqu'un trou noir supermassif happe une étoile malchanceuse. Ces épisodes ne durent que quelques mois, et non de longs millénaires comme pour les quasars. Les chercheurs peuvent dans ce cas assister au repas du trou noir du début à la fin, et ces TDE sont suffisamment brillants pour être observés même dans des galaxies lointaines.

COMMENT DÉTRUIRE UNE ÉTOILE

Un événement de destruction par effet de marée est infiniment plus brutal et spectaculaire que les sages marées qui animent le paysage de nos côtes, mais le principe n'en est pas si différent. Les marées de la Terre sont principalement dues à l'attraction gravitationnelle exercée par la Lune, qui tire plus fort du côté de la Terre le plus proche d'elle. La différence entre l'attraction gravitationnelle de la Lune du côté proche et du côté éloigné engendre ce qu'on nomme une force de marée. Laquelle soulève une bosse, ou marée haute, à la fois du côté de la Terre qui fait face à la Lune et, plus paradoxalement, du côté opposé aussi. Et dans les directions orientées à 90 degrés de l'axe Terre-Lune, on obtient des marées basses.

Quand une étoile arrive dans le voisinage d'un trou noir supermassif, peut-être poussée là par les chiquenaudes gravitationnelles d'une autre étoile, les très intenses forces de marée du trou noir peuvent la déchirer en lambeaux. Les détails du trépas de l'astre dépendent de sa taille et de celle du trou noir supermassif. Face aux forces de marée, un petit objet compact, une naine blanche par exemple, sera beaucoup plus résilient qu'une étoile plus grosse et diffuse de type solaire, de la même façon qu'une boule de bowling serait plus difficile à déchirer qu'une boule de barbe à papa.

Les plus gros des trous noirs supermassifs, contenant des milliards de masses solaires, sont trop gros pour créer des événements de destruction par effet de marée : ils auront tendance à avaler les étoiles tout entières avant que les forces de marée ne deviennent suffisamment intenses pour les dépecer. En

Tels des phares cosmiques, les quasars brillent fortement. Ces objets lointains sont produits par des trous noirs supermassifs qui accrètent de grandes quantités de gaz. Mais ces phases d'activité des trous noirs sont trop rares, trop lointaines et durent trop longtemps pour révéler pleinement comment se nourrissent les trous noirs géants. Des détails peuvent être obtenus en observant des trous noirs avaler une étoile entière.

revanche, les forces de marée dues à un trou noir de quelques millions de masses solaires déchireront la plupart des étoiles qui s'approchent à moins de 50 millions de kilomètres – à peu près la distance de Mercure au Soleil.

Le démembrement total de l'étoile n'est que le début du feu d'artifice. Après la destruction initiale, les débris stellaires se dispersent et dévient progressivement de la trajectoire initiale de l'étoile. Les lois de la mécanique indiquent que la moitié environ des débris seront expulsés sous forme de longs filaments de matière loin du voisinage du trou noir, tandis que l'autre moitié retombera vers le trou noir en formant un disque d'accrétion, une structure d'anneaux décrivant des spirales qui chutent lentement vers le trou noir.

Lors de ce processus, le matériau du disque est accéléré et atteint des vitesses proches de celle de la lumière. Les forces gravitationnelles et la friction compriment et chauffent ce disque à des températures approchant 250 000 degrés. Ce disque se met alors à briller intensément. En quelques semaines ou quelques mois, un événement de destruction par effet de marée typique se traduit par la transformation d'un trou noir auparavant dormant et invisible en un objet dont l'éclat éclipse toutes les étoiles de sa galaxie.

Bien que les théoriciens aient prédit les événements de destruction par effet de marée il y a plusieurs décennies, les astronomes ont dû attendre les années 1990 et le début des années 2000 pour en détecter. Ce délai est en partie dû à la rareté des TDE (on estime qu'il s'en produit un tous les 100 000 ans dans une

galaxie comme la Voie lactée). Par ailleurs, ces événements sont difficiles à voir. En effet, les modèles théoriques suggéraient que le rayonnement du disque d'accrétion d'un TDE devrait être maximal dans certaines portions du spectre électromagnétique, les rayons X dits mous et l'ultraviolet lointain. Or ces longueurs d'onde sont difficiles à étudier car les poussières interstellaires présentent des émissions similaires et elles sont efficacement absorbées par l'atmosphère terrestre.

PESER LE TROU NOIR

Malgré ces obstacles observationnels, les astrophysiciens étaient motivés par la recherche des TDE, notamment parce qu'ils permettent d'estimer avec précision la masse du trou noir, une information cruciale pour étudier comment un trou noir évolue et comment il influe sur son environnement galactique. Pour mesurer la masse d'un trou noir, les astronomes doivent chronométrer le temps nécessaire au TDE pour atteindre sa brillance maximale (ce qui montre à quelle rapidité un disque d'accrétion se forme et nourrit le trou noir). Du fait de leur extraordinaire luminosité, les TDE permettent aux chercheurs de préciser les masses pour un éventail de trous noirs supermassifs plus large qu'avec n'importe quel autre phénomène connu.

Les premiers candidats TDE ont été trouvés dans les données des télescopes spatiaux *Rosat* (rayons X) et *Galex* (ultraviolet). Ils se présentaient sous la forme d'événements éruptifs durant quelques semaines à quelques mois et provenant du centre de galaxies jusque-là ➤



> inactives. En tant que premières manifestations de ce phénomène prédit depuis longtemps, ces découvertes ont été particulièrement importantes et ont inauguré un nouveau champ d'étude. Mais parce que l'on trouvait ces candidats pour l'essentiel dans des données anciennes, les astronomes étaient dans l'impossibilité de les étudier à diverses longueurs d'onde en temps réel afin d'avoir une vue complète de ces événements. Pour prendre les TDE sur le vif, il fallait que les astronomes aient beaucoup de chance, ou qu'ils soient en mesure de surveiller en continu de gigantesques portions du ciel.

LA TRAQUE DEVIENT POSSIBLE

Or, grâce aux progrès continus en termes de stockage de données et de sensibilité des détecteurs durant la dernière décennie, des relevés aussi ambitieux sont désormais possibles. Un détecteur optique haut de gamme peut aujourd'hui obtenir une image de un degré carré du ciel en une prise unique, ce qui revient plus ou moins à voir le ciel avec un objectif panoramique après des années passées à l'étudier en regardant à travers une paille. En surveillant régulièrement de vastes régions du ciel et en comparant numériquement les images résultantes afin d'y identifier des événements peu lumineux et éphémères, les astronomes sont maintenant en mesure de découvrir et d'étudier plus facilement les TDE et une foule d'autres phénomènes astrophysiques transitoires.

Ces nouveaux relevés à grand champ, tels *Pan-STARRS* (*Panoramic Survey Telescope and Rapid Response System*, télescope de relevé panoramique et système de réponse rapide), *PTF* (*Palomar Transient Factory*, usines à sources transitoires du mont Palomar) et *ASAS-SN* (*All-Sky Automated Survey for Supernovae*, relevé automatisé sur tout le ciel des supernovæ), ont été conçus principalement pour identifier les supernovæ et les astéroïdes. Or, comme ils sont capables de capter l'image de millions de galaxies chaque nuit, ils sont aussi sensibles aux événements plus exotiques, tels que les TDE.

En 2010, peu de temps après la mise en service de *Pan-STARRS*, une équipe dirigée par Suvi Gezari, astrophysicienne à l'université du Maryland, a découvert un événement de destruction par effet de marée; nommé PS1-10jh, il s'est produit autour d'un trou noir d'à peu près 2 millions de masses solaires dans une galaxie située à quelque 2,7 milliards d'années-lumière de la Terre. Et comme ce TDE a été détecté peu de temps après l'enregistrement des données, Suvi Gezari et ses collègues ont pu, pour la première fois, suivre la quasi-totalité du processus en longueurs d'onde optiques et ultraviolettes. Mais ce qu'ils ont vu a constitué un véritable choc.

UNE RENCONTRE RARE MAIS FATALE

En s'aventurant trop près des trous noirs supermassifs tapis au centre de la plupart des galaxies, les étoiles se déchirent sous l'effet de l'intense champ gravitationnel. Elles envoient un flot de gaz vers le trou noir; ce gaz se comprime, chauffe et luit pendant sa chute. Nommés événements de destruction par marée, ou TDE, ces explosions sont parmi les phénomènes les plus lumineux de l'Univers et éclairent le processus d'alimentation et de croissance des trous noirs supermassifs.

Étoile

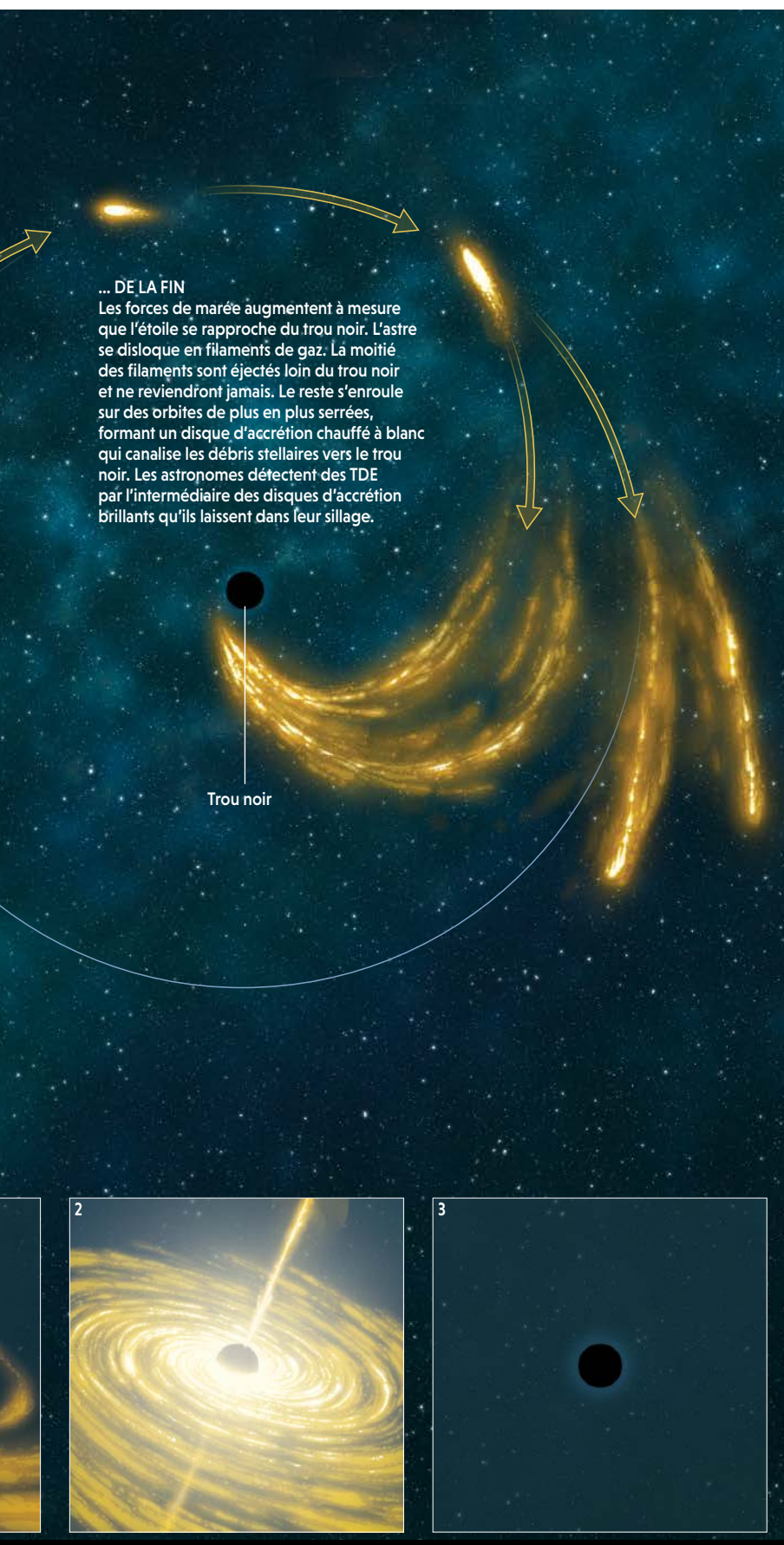
LE DÉBUT...

Un TDE démarre quand un trou noir supermassif exerce une attraction gravitationnelle plus forte du côté proche que du côté éloigné d'une étoile de passage. L'intensité de ces « forces de marée » dépend de la masse du trou noir et de la densité de l'étoile. Ici, une étoile de masse solaire commence à s'étirer comme de la barbe à papa en s'approchant d'un trou noir d'environ un million de masses solaires.

UNE OCCASION UNIQUE

Un TDE est la seule situation qui permet aux astrophysiciens d'assister au spectacle d'un trou noir qui se réveille, prend son repas et retourne dormir. En fonction du temps que met un disque d'accrétion à se former (1), atteindre sa luminosité maximale (2) et disparaître (3), les chercheurs évaluent la taille de l'étoile engloutie ainsi que la masse du trou noir et sa vitesse de rotation. Pendant que le trou noir se nourrit, les chercheurs peuvent également suivre les ondes de choc dans son disque d'accrétion, ainsi que la formation de jets relativistes (des faisceaux de particules libérées à des vitesses proches de celle de la lumière, émanant des pôles du trou noir). Aucun autre événement cosmique n'offre une vision aussi détaillée des processus extrêmes régnant autour des trous noirs.

1



D'après les mesures détaillées du spectre électromagnétique de son rayonnement, ce TDE était beaucoup trop froid. À seulement 30000 kelvins, il était près de 8 fois plus froid que ne le prédisaient la plupart des modèles décrivant les disques d'accrétion. De plus, au lieu de disparaître progressivement en quelques semaines tandis que le disque d'accrétion se refroidissait et se dissipait, PS1-10jh s'est maintenu à une température constante pendant plusieurs mois après la découverte initiale. Plus étrange encore, *Pan-STARRS* a détecté dans l'émission rémanente des signes de la présence d'hélium ionisé, ce qui n'était possible qu'avec des températures supérieures à 100000 kelvins. Et bien que le TDE semblât riche en hélium, il paraissait dépourvu d'hydrogène, l'élément le plus abondant de l'Univers et le principal ingrédient des étoiles. Les théoriciens se sont donc mis au travail pour trouver ce que traduisaient ces si déconcertants résultats.

Pour expliquer le manque d'hydrogène de PS1-10jh, l'équipe de *Pan-STARRS* a suggéré que l'étoile disloquée par le trou noir a pu perdre son épaisse enveloppe d'hydrogène à un moment antérieur; peut-être lors d'une précédente interaction avec le trou noir, et qu'il ne serait resté que le cœur riche en hélium de l'étoile pour alimenter le disque d'accrétion observé.

Mais ce scénario ne pouvait expliquer à lui seul les étranges anomalies thermiques du TDE: sa température étonnamment basse et, en totale contradiction, l'abondance d'hélium ionisé, possible uniquement à haute température. Pour résoudre cette énigme, d'autres théoriciens ont postulé que le disque d'accrétion qui enserrait le trou noir de PS1-10jh n'était en réalité pas observé directement. Les astronomes auraient en fait vu un voile de gaz enveloppant le lieu du crime, beaucoup plus loin, et qui absorberait l'intense rayonnement produit par le disque d'accrétion et le réémettrait à des températures plus basses. Ce voile aurait la vertu supplémentaire d'expliquer aussi l'apparente absence d'hydrogène sans avoir recours à un scénario de TDE exotique avec une étoile au cœur riche en hélium. Avec les bonnes températures et une densité assez élevée, un tel voile pourrait potentiellement masquer la présence d'hydrogène.

Seul problème: pour qu'un tel voile de gaz explique les observations, il aurait dû être situé à une certaine distance du trou noir, distance où ce nuage de gaz aurait été instable. Avec le temps, il aurait dû soit être happé totalement par le trou noir, soit se dissiper et devenir invisible. Les origines troubles des observations de PS1-10jh font encore l'objet de débats intenses, mais se résument essentiellement à deux possibilités, toutes deux liées à la dynamique d'un trou noir en plein repas.

D'après l'une des pistes, tandis que les vestiges d'une étoile disloquée forment un disque ➤

> d'accrétion, des ondes de choc s'y forment et peuvent se propager vers l'extérieur, jusqu'à bonne distance du disque. Ces ondes retardent la chute d'une partie des débris qui constituent un écran temporaire de matière, le voile qui expliquerait les observations. Autre possibilité, le disque d'accrétion du TDE nouveau-né pourrait initialement canaliser tellement de matière vers l'intérieur que cela dépasserait momentanément la capacité du trou noir à s'alimenter, formant des vents ou des écoulements transitoires dirigés vers l'extérieur aux abords du trou noir, qui auraient pour effet de repousser les débris stellaires au-delà du disque d'accrétion, à des distances bien plus grandes.

Tandis que les astronomes tentaient de comprendre PS1-10jh et les TDE qui ont été rapidement découverts par la suite, ils ont pris conscience que les événements de destruction par effet de marée étaient des processus beaucoup plus complexes que tout ce que l'on avait supposé jusque-là. Mais la plus grande surprise était encore à venir.

LES RÉVÉLATIONS CHOC DE SWIFT

Cette surprise est arrivée aux premières heures du 28 mars 2011, avec une alerte automatisée envoyée à tous les téléphones portables d'une équipe d'astronomes un peu partout dans le monde. Le satellite *Swift* venait de détecter une impulsion de lumière de haute énergie venue des profondeurs de l'espace.

Construit par la Nasa, en partenariat avec des instituts de recherche italiens et britanniques, *Swift* est un télescope spatial particulièrement adapté à l'étude d'explosions cosmiques en tous genres. Ses principales cibles sont les sursauts gamma, des explosions stellaires cataclysmiques qui sont les événements astrophysiques les plus lumineux de l'Univers. À chaque fois qu'un torrent de rayons gamma pénètre dans les capteurs de *Swift*, le télescope se réoriente rapidement pour observer la source en rayons X et en lumière visible, et déclenche une chaîne complexe d'avertissements vers la Terre. Dans les instants qui suivent une telle alerte, les astronomes se précipitent pour réquisitionner les télescopes les plus grands et les plus puissants au monde pour traquer toute « braise » d'émission rémanente associée à un sursaut gamma avant qu'il ne s'éteigne pour toujours.

Depuis son lancement en 2004, *Swift* a découvert plus de 1 000 sursauts de rayons gamma, mais cet événement-là, surnommé par la suite Swift J1644+57, allait être unique en son genre parmi toutes les observations du satellite.

Comme le suggère leur nom, les sursauts gamma ont tendance à être brefs, leur durée typique allant d'une fraction de seconde à quelques minutes. Quand nous avons braqué

nos télescopes sur Swift J1644+57 en ce matin de mars, nous nous attendions à voir l'émission rémanente classique d'un éphémère sursaut gamma.

Au lieu de cela, nous avons observé un flux intense et variable de rayons gamma qui a duré une journée entière, suivie de plusieurs mois d'émissions de rayons X, intenses mais décroissantes. Nous avons rapidement localisé l'explosion dans une galaxie distante de 3,8 milliards d'années-lumière dans la constellation du Dragon. L'un de nos collègues, Joshua Bloom, de l'université de Californie à Berkeley, a suggéré que nous avions assisté à un TDE. Mais alors que tous les TDE précédents avaient été détectés à de plus grandes longueurs d'onde, donc d'énergie plus faible, correspondant à l'émission thermique du disque d'accrétion d'une étoile déchiquetée, il s'agissait là de tout autre chose.

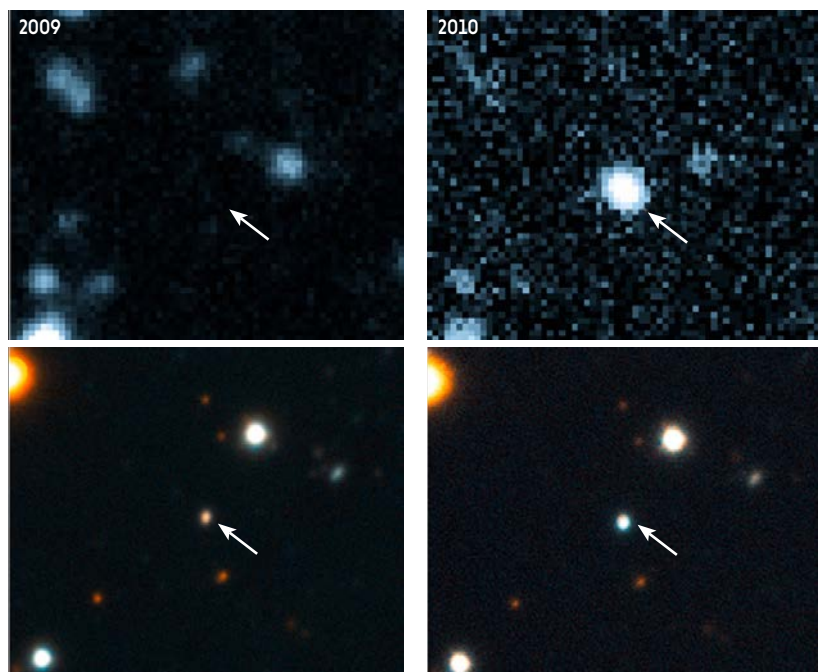


En moyenne, le trou noir au centre d'une galaxie telle que la Voie lactée avale une étoile tous les 100 000 ans



Comment donc un TDE pouvait-il produire des rayons gamma? La meilleure réponse que nous pouvions proposer était que les trous noirs mangent salement! Un trou noir dévore la majeure partie du gaz d'une étoile déchirée, l'emprisonnant pour toujours derrière un horizon des événements (la frontière à l'intérieur de laquelle l'attraction gravitationnelle du trou noir est tellement forte que même la lumière ne peut pas s'en échapper). Mais une petite partie des débris pourrait échapper à la chute.

En effet, tous les trous noirs sont probablement en rotation et ce mouvement pousserait une fraction du gaz vers les pôles du trou noir, où il serait accéléré et éjecté sous la forme d'étroits jets de particules animées de vitesses proches de celle de la lumière. Ces jets relativistes émettent des rayons gamma et X qui fendent le cosmos. *Swift* s'était apparemment trouvé pile sur la trajectoire du jet de Swift J1644+57. C'était un coup de chance: tous les TDE ne déclenchent pas de telles



L'événement PS1-10jh correspondrait à la dislocation d'une étoile par le trou noir supermassif au centre d'une galaxie. Il a été observé par les programmes d'observation *Gaia* (en haut, en ultraviolet) et *Pan-STARRS* (en bas, dans les domaines visible et infrarouge). Les images à gauche sont prises en 2009 avant l'événement, celles de droite en 2010, tandis que le trou noir avalait l'étoile.

rafales relativistes, et la plupart de ceux qui le font passent hors de notre ligne de visée.

Avec la détection de Swift J1644+57, l'équipe de *Swift* a entamé une recherche concertée d'autres événements du même type. Début 2017, deux nouveaux TDE émetteurs de jets de rayons gamma ont été trouvés. La découverte de ces aspects si rares et intenses du trépas d'une étoile offre aux chercheurs l'occasion unique d'étudier un sujet important de l'astrophysique des hautes énergies : la formation de jets de particules relativistes et leurs propriétés.

MORTS PLANÉTAIRES

Que ce soit par les émissions thermiques des disques d'accrétion de débris stellaires ou bien à travers les rayons gamma qui se déversent des jets relativistes d'un trou noir en train d'avalir une étoile, les TDE ouvrent une nouvelle fenêtre pour comprendre le comportement et l'évolution des trous noirs supermassifs.

Un aspect essentiel des TDE est sa durée. Les quasars présentent aussi des jets et des disques d'accrétion, mais ils sont plus larges et durables, car produits par d'immenses nuages de gaz tombant sur un trou noir supermassif, et il n'est pas possible d'en étudier le cycle complet. À l'inverse, les astronomes ont déjà trouvé et étudié du début à la fin une vingtaine de TDE. Cela leur permet de scruter les plus petits détails de ces catastrophes stellaires et de révéler certaines surprises qu'il reste à comprendre ou des choses que l'on pensait impossible à observer. Par exemple, en mesurant avec précision l'éclat fluctuant des TDE, les astronomes obtiennent non

seulement des renseignements précieux sur les trous noirs, mais également des détails sur la composition et la structure interne des étoiles qui sont déchiquetées à plusieurs milliards d'années-lumière de nous.

Les chercheurs espèrent même un jour parvenir à obtenir des informations sur les compagnons d'une étoile – ses planètes, elles aussi englouties par le trou noir. Chaque scintillement en provenance d'une galaxie lointaine pourrait marquer la mort d'une planète entière. Les relevés des étoiles de la Voie lactée ont montré qu'elles hébergent presque toutes des planètes ; des planètes accompagnent donc probablement la plupart, sinon toutes, les étoiles victimes de TDE.

Et si les planètes n'étaient pas directement consommées, elles pourraient se retrouver sur la trajectoire des jets relativistes transitoires produits par certains TDE, qui s'étendent sur plusieurs années-lumière au-delà du trou noir. L'éventuelle vie sur une telle planète, frappée par un faisceau de particules énergétiques, serait rapidement anéantie. Un jour peut-être, les astronomes verront un TDE dans notre propre jardin cosmique, si jamais une étoile perdue vient à être consommée par le trou noir de 4 millions de masses solaires qui se tapit au centre de la Voie lactée, où il sommeille en raison de la raréfaction du gaz. L'événement serait très brillant, mais sans risque puisque nous sommes trop loin du centre galactique pour que les effets les plus dangereux du TDE nous atteignent sur Terre.

L'avènement de relevés du ciel encore plus performants annonce une nouvelle ère de découvertes pour les TDE. Le *LSST* (*Large Synoptic Survey Telescope*, grand télescope d'étude synoptique), en cours de construction au Chili, couvrira 10 degrés carrés du ciel et mettra au jour à lui seul des milliers de ces explosions dans la décennie qui suivra sa mise en service. À certains égards, le plus grand défi sera de passer au crible la multitude de découvertes de sources transitoires. Des projets d'observatoires radio, tels que le SKA (*Square Kilometer Array*, réseau de un kilomètre carré), en cours de construction en Australie et en Afrique du Sud, sont particulièrement adaptés à l'identification de jets relativistes, même si ces derniers ne pointent pas directement le long de notre ligne de visée.

Dans un avenir assez proche, les astronomes auront assemblé un catalogue de TDE répertoriant des milliers d'événements, plus qu'un seul homme pourrait étudier en une vie entière. Il en résultera un éclairage nouveau sur la masse et le comportement de ces monstres affamés que sont les trous noirs supermassifs, tapis au cœur des galaxies partout dans l'Univers. ■

BIBLIOGRAPHIE

S. Gezari et al., **PS1-10jh continues to follow the fallback accretion rate of a tidally disrupted star**, *Astrophysical Journal Letters*, vol. 815(1), L5, 2015.

S. Gezari et al., **An ultraviolet-optical flare from the tidal disruption of a helium-rich stellar core**, *Nature*, vol. 485, pp. 217-220, 2012.

J. S. Bloom et al., **A possible relativistic jetted outburst from a massive black hole fed by a tidally disrupted star**, *Science*, vol. 333, pp. 203-206, 2011.

