


2  15

L'ANNÉE

TROU NOIR

Eric SIMON

ww.ca-se-passe-la-haut.fr

2015, L'année Trou Noir

2015, L'année Trou Noir

2015

L'ANNEE TROU NOIR

Recueil de blog

Eric Simon

www.ca-se-passe-la-haut.fr

2015, L'année Trou Noir

PROLOGUE

L'année 2015 fut une année noire à de nombreux points de vue, une année que l'on aimerait oublier très vite, mais que l'on sait devoir garder en mémoire pour longtemps. Et pourtant la science en 2015 a poursuivi sa route presque imperturbablement et nous a offert de beaux moments que nous souhaitons, eux, garder en mémoire un moment pour peut-être les oublier sans gravité. De gravité au sens Einsteinien, il en est bien sûr question lorsque l'on évoque la science liée aux trous noirs, ces objets emblématiques des sciences de l'Univers telles qu'elles sont relatées au jour le jour sur Ça Se Passe Là-Haut.

Les trous noirs sont parmi les objets les plus fascinants que l'on connaisse, ou que l'on croit connaître, tant il est difficile d'appréhender l'étendue des mystères qu'il nous reste à découvrir au sujet de ces objets hors du commun. Ils sont ainsi devenus un sujet récurrent sur Ça Se Passe Là-Haut, notamment ceux parmi eux qui sont qualifiés de supermassifs, ces gigantesques trous de l'espace-temps tapis au centre des galaxies dont la masse peut dépasser plusieurs dizaines de milliards de masses solaires.

Ce recueil de billets retrace une année de recherche en astrophysique consacrée aux trous noirs, sélectionnés parmi les billets publiés sur Ça Se Passe Là-Haut. On y rencontrera notamment l'une des plus étonnantes découvertes de l'année, publiée à la fin du mois de février : l'existence d'un trou noir supermassif de 12 milliards de masses solaires dans l'Univers âgé de seulement 900 millions d'années, qui a laissé plus d'un astrophysicien sans voix... avant qu'une solution très intéressante ait été émise à la fin de cette même année et apporte une réponse d'autant plus étonnante.

Puisse ce recueil vous donner l'envie d'en savoir plus sur la monde fascinant des trous noirs, nés sur le papier il y a tout juste un siècle dans de sombres tranchées grâce à un astronome allemand de génie trop tôt fauché par la folie des hommes...

2015, L'année Trou Noir

TABLE DES MATIERES

Fortes bouffées de rayons X détectées en provenance de Sgr A*, trou noir supermassif de notre galaxie 9

Galaxies : Un lien entre trou noir supermassif et halo de matière noire ? 11

Découverte d'un trou noir de 12 milliards de masses solaires distant de 12,9 milliards d'années-lumière 13

Les trous noirs supermassifs empêchent le grossissement des galaxies 15

Simulation réaliste (et observation) d'un couple de trous noirs supermassifs en voie de fusion 17

Découverte de trous noirs supermassifs cachés 19

Observation d'un trou noir supermassif géant dans une petite galaxie à 11,8 milliards d'années-lumière 21

Découverte du plus petit trou noir supermassif à ce jour 25

Quand des trous noirs font exploser des étoiles à distance 27

Retour sur le mystère de G2, survivant de Sgr A* 31

Trous Noirs : La nouvelle idée de Stephen Hawking pour résoudre le paradoxe de l'information 35

Découverte d'un nouveau trou noir de masse intermédiaire 37

Regain d'activité en rayons X pour Sgr A* 39

Quand un trou noir dévore une étoile à neutrons 41

Destruction d'une étoile par un trou noir supermassif observée "en direct" 43

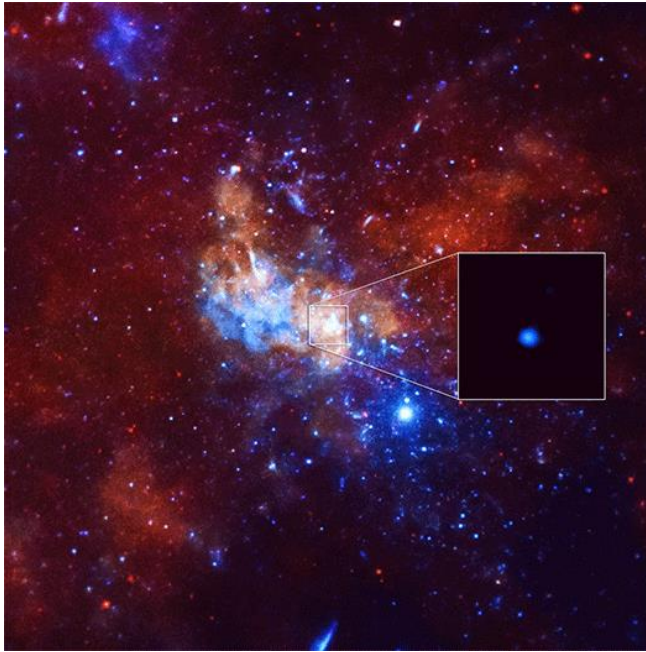
Observation inédite du magnétisme de Sgr A*, trou noir central de notre galaxie 45

Nouvelle explication pour les trous noirs supermassifs formés très tôt 49

Observation d'un disque de matière désordonné autour d'un trou noir supermassif 51

Fortes bouffées de rayons X détectées en provenance de Sgr A*, trou noir supermassif de notre galaxie

La plus grosse émission de rayons X jamais observée en provenance du trou noir supermassif de notre galaxie, **Sgr A***, a été observée et son étude vient d'être rendue publique au cours du meeting de l'AAS (*American Astronomical Society*) qui a lieu en ce moment à Seattle. Cette observation date de septembre 2013 et a été effectuée avec le télescope spatial **Chandra X-Ray Observatory**.



Vue du centre galactique par Chandra X-Ray Observatory (NASA)

Cette énorme bouffée de rayons X est 400 fois plus intense que le flux observé normalement en provenance du voisinage immédiat de Sgr A*.

Sur l'image fournie par la collaboration Chandra, on peut voir les flux de rayons X avec des fausses couleurs représentant l'énergie des photons X, du rouge (faible énergie) au bleu (haute énergie). L'image animée montre le voisinage immédiat du trou noir supermassif en fonction du temps, avec une source continue de rayons X à proximité, qui est un magnétar, une étoile à neutron à très fort champ magnétique, puis cette brutale

éruption de rayons X, légèrement à côté, qui se situe, elle, au niveau du trou noir supermassif.

Environ 1 an après cette première bouffée de rayons X, en octobre 2014, les chercheurs ont observé une deuxième bouffée, 200 fois plus forte que l'intensité normale cette fois-ci.

Les astrophysiciens ont déjà deux théories pour expliquer ces observations : la première est fondée sur le fait que le champ gravitationnel de Sgr A* aurait pu disloquer un astéroïde passant très près de son horizon, chauffant ensuite les débris jusqu'à des températures d'émission de rayons X par accréation.

La seconde théorie, très différente, implique le fort champ magnétique entourant le trou noir. Une reconfiguration et une reconnexion des lignes de champs magnétique pourrait également produire ce genre de bouffées de rayons X. Ce type de processus est vu très souvent sur le Soleil, à une échelle plus petite, et l'émission observée sur le trou noir montre des similitudes troublantes...

Chandra scrute le centre galactique et Sgr A* plus particulièrement depuis sa mise en orbite en 1999. Vous vous souvenez que nous avons parlé ici il y a quelques mois d'une possible bouffée de rayons X qui aurait pu provenir de l'absorption par Sgr A* d'un nuage de gaz nommé G2. Mais de par la distance qui séparait G2 de Sgr A* au moment de la première bouffée observée, en septembre 2013, il apparaît très improbable aux yeux des chercheurs que G2 ait un lien quelconque avec elle. D'où l'imagination de plusieurs explications potentielles. Les astrophysiciens menés par Daryl Haggard de Amherst College qui a présenté ces résultats à Seattle, ont également pu étudier assez précisément l'autre source de rayons X qui est située dans le champ de vue, ce magnétar, et commencent à mieux comprendre cet objet assez inhabituel.

Source :

Sagittarius A*: NASA's Chandra Detects Record-Breaking Outburst from Milky Way's Black Hole

[Communiqué Chandra X-ray Observatory](#)

Publié le mardi 6 janvier 2015

Galaxies : Un lien entre trou noir supermassif et halo de matière noire ?

Existe-t-il un lien entre les **trous noirs supermassifs** des galaxies et le **halo de matière noire** supposé baigner ces mêmes galaxies ? Une petite équipe d'astrophysiciens libanais tente d'apporter une réponse à cette question très intéressante...



Vue d'artiste du halo sphérique de matière noire devant entourer les galaxies (ESO)

Pour établir une éventuelle connexion entre la masse du trou noir supermassif situé au cœur d'une galaxie, et la masse du halo de matière noire, il faut trouver un point d'entrée observationnel. La propriété galactique qu'ont sélectionnée Bassem Sabra et ses collègues dans cet objectif est la **vitesse circulaire maximale** de la galaxie. Plus précisément, ils ont étudié la relation qui peut exister entre la valeur de la masse du trou noir supermassif et la valeur de la vitesse circulaire maximale. L'astuce réside dans le fait

que cette valeur de vitesse de rotation doit dépendre de la masse de matière noire présente dans le halo galactique, c'est la seule hypothèse que considèrent les astrophysiciens libanais. Donc, si une corrélation existe entre la masse du trou noir et cette vitesse de rotation, cela implique également l'existence d'une corrélation entre la masse du trou noir supermassif et la masse de matière noire... Dans leur étude à paraître dans *the Astrophysical Journal*, les chercheurs se sont intéressés à de nombreuses galaxies de tous types, la seule nécessité était qu'elles devaient avoir une mesure directe de la masse de leur trou noir supermassif, ainsi qu'une mesure directe de la vitesse circulaire et de la vitesse de dispersion des étoiles. D'autres analyses de ce type ont été effectuées dans le passé, mais en utilisant une méthode plus indirecte, en étudiant la corrélation existante entre vitesse circulaire et vitesse de dispersion dans le bulbe galactique, avec une hypothèse sur la relation entre vitesse de dispersion dans le bulbe et masse du trou noir supermassif.

Les astrophysiciens libanais estiment qu'une mesure directe de la masse du trou noir supermassif est bien plus préférable pour déterminer une corrélation, car plus directe, sans hypothèse intermédiaire.

L'échantillon de galaxies initial exploité, offrant les mesures nécessaires à l'analyse (masse du trou noir déterminée par des mesures dynamiques et vitesse circulaire ou vitesse de dispersion) se composait de 376 galaxies. Après une

2015, L'année Trou Noir

sélection drastique des meilleures candidates permettant les incertitudes les moins fortes, il n'en restait plus 89.

Les masses des trous noirs utilisés dans l'échantillon s'étalent entre 1,1 million de masses solaires (dans une galaxie nommée *Cirinus*), pour le plus maigre, jusqu'à 17 milliards de masses solaire (dans *NGC 1277*) pour le plus lourd... C'est dire si cet échantillon couvre toute la famille des trous noirs supermassifs.

Vous vous demandez ce que ces chercheurs trouvent ? Je vais vous le dire : **ils trouvent qu'il n'existe pas de corrélation (ou bien elle est très très faible) entre la masse du trou noir supermassif central d'une galaxie et la masse de son halo de matière noire.** Il faut préciser que cette étude porte uniquement sur des galaxies relativement proches de nous, c'est à dire situées dans l'univers actuel. Cette précaution sur l'aspect temporel est importante car des études effectuées en 2011 ont montré que dans l'Univers jeune (lointain), une telle corrélation devait être importante.



Vue d'artiste d'un trou noir supermassif (NASA)

Il reste néanmoins une population de galaxies qui défie cette analyse, c'est celle des galaxies spirales sans bulbe possédant un trou noir supermassif, pour lesquelles on ne peut pas étudier une éventuelle corrélation par cette méthode de la vitesse circulaire ou de la vitesse de dispersion stellaire...

Les auteurs concluent leur article en évoquant ce à quoi on semble avoir échappé : le fait que si une telle corrélation entre masse de trou noir supermassif et masse de halo de matière noire devait persister dans l'Univers actuel, cela impliquerait l'existence de trous noirs hypermassifs au cœur des halos de matière noire des amas de galaxies. Ces monstres s'éloignent donc un peu de notre perspective.

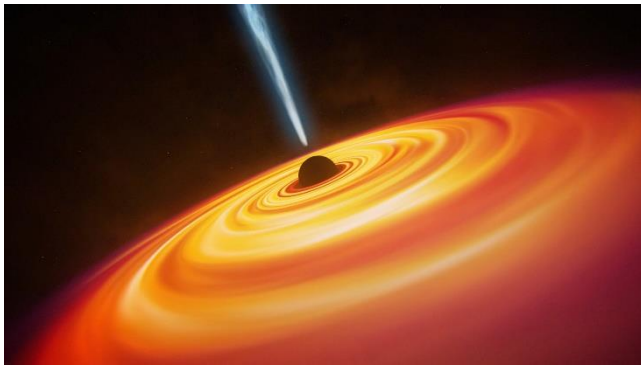
Source :

The Blackhole-Dark Matter Halo Connection
B. Sabra et al.
à paraître dans *the Astrophysical Journal*

Publié le mercredi 4 février 2015

Découverte d'un trou noir de 12 milliards de masses solaires distant de 12,9 milliards d'années-lumière

Pour fabriquer un trou noir supermassif de plusieurs milliards de masses solaires, il faut un certain temps, surtout quand on estime que les graines de trous noirs qui donneront plus tard ces monstres ne pèsent au départ que 100 000 masses solaires... Alors, que penser de ce monstre de 12 milliards de masses solaires qui vient d'être découvert, situé à plus de 12,9 milliards d'années-lumières de nous, c'est à dire dans un univers âgé d'à peine 875 millions d'années seulement ? Cette découverte a été effectuée par une équipe sino-américaine et fait l'objet d'un



Vue d'artiste d'un trou noir avec son disque d'accrétion
(Swinburne Astronomy Productions)

article dans la revue britannique *Nature* cette semaine.

Il s'agit tout simplement du trou noir supermassif le plus gros jamais découvert dans l'Univers âgé de moins de 1 milliard d'années.

Il est appelé **SDSS J010013.02+280225.8**, ou plus simplement **J0100+2802**. Le précédent record dans cette catégorie des quasars ayant un décalage vers le rouge supérieur à 6, c'est à dire distants de plus de 12 milliards d'années-lumière (ils sont au nombre de 40 aujourd'hui), était un trou noir de "seulement" 2 milliards de masses solaires...

J0100+2802 est aussi le trou noir supermassif qui montre **le taux d'accrétion le plus énorme jamais entrevu**, ce qui en fait également l'objet le plus brillant de l'Univers de cette époque (rappelons qu'un trou noir brille par son disque d'accrétion, le disque de matière qui lui tourne autour à très grande vitesse et qu'il dévore), le taux d'accrétion est égal à la quantité de matière absorbée par unité de temps.

Les astrophysiciens sont parvenus à "mesurer" la masse de ce trou noir justement en observant la vitesse à laquelle le gaz de son disque d'accrétion tombait dedans.

Reprenons. Les premières étoiles sont nées quand l'Univers avait environ 500 millions d'années. Ce trou noir supermassif au sein d'un quasar se trouve dans l'Univers âgé de 875 millions d'années, soit 6% de son âge actuel. Il s'est donc passé à peine quelques centaines de millions d'années entre l'apparition des premières étoiles et l'existence de cet objet hors norme. Théoriquement, ce n'est pas complètement impossible de parvenir à une masse pareille en si peu de temps, mais cela veut dire que ce trou noir montre un taux d'accrétion maximal depuis sa

2015, L'année Trou Noir

naissance, et ce durant plusieurs centaines de millions d'années. Or il existe une limite théorique à la durée de l'accrétion maximale d'un trou noir.

L'accrétion en elle-même ne peut dépasser une certaine limite, la *limite d'Eddington*, qui est fixée par la pression de radiation émise par le disque d'accrétion, et la durée maximale d'une accrétion au taux maximal était jusqu'à aujourd'hui estimée être de l'ordre de 100 millions d'années. Le calcul des astrophysiciens chinois montre que l'accrétion au taux limite d'Eddington pour ce trou noir produirait une masse de 13 milliards de masses solaires, mais en bien plus de 100 millions d'années.

Il semblerait que cette dernière limite doive être réévaluée désormais, à moins qu'il existe un phénomène qui empêche le rayonnement du disque d'accrétion d'inhiber l'accrétion (la chute de matière vers le trou noir) et que la limite d'Eddington puisse être dépassée.

Une autre hypothèse se fait également jour pour expliquer l'existence d'un trou noir si massif en si peu de temps. **Son origine pourrait ne pas être liée à la coalescence d'une ou plusieurs graines de trous noirs (trous noirs stellaires), mais directement lié à un effondrement gravitationnel de nuages de gaz plus précoce, sans passer par la phase étoiles**, ce qui aurait pour effet de gagner beaucoup de temps et de démarrer avec une masse plus importante... On le voit, les astrophysiciens semblent pour le moins perplexes face à cette découverte.

Par ailleurs, on constate généralement dans les galaxies proches qu'il existe une corrélation entre la masse totale des étoiles d'une galaxie et la masse du trou noir central ; plus la galaxie est grosse, plus le trou noir est gros. Si cette corrélation est la même dans l'Univers âgé de moins de 1 milliard d'années, cela impliquerait que la galaxie hôte de ce quasar découvert par Xue-Bing Wu et ses collègues posséderait entre 4000 et 9000 milliards d'étoiles... Ce qui en ferait l'une des plus grosses galaxies connues.

Il semble que la découverte de J0100+2802 renforce les idées disant que la croissance des trous noirs supermassifs est plus rapide que celle de leur galaxie hôte. Il sera donc très intéressant de se pencher de plus près vers cet objet abritant ce monstrueux trou noir pour étudier les étoiles qui l'accompagnent, et c'est ce que l'équipe chinoise projette de faire maintenant avec l'aide du télescope spatial Hubble.

Sources :

An ultraluminous quasar with a twelve-billion-solar-mass black hole at redshift 6.30

Wu, X.-B. et al.

Nature 518, 512–515 (2015)

A giant in the young universe

B. Venemans

Nature 518, 490-491 (2015)

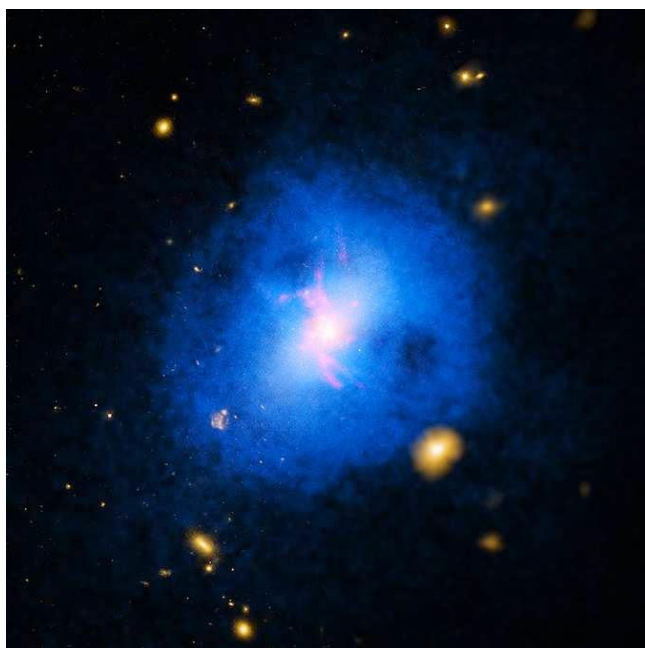
Publié le jeudi 26 février 2015

Les trous noirs supermassifs empêchent le grossissement des galaxies

On en sait maintenant beaucoup plus sur les mécanismes qui ralentissent le grossissement des galaxies, ils sont bel et bien liés au **trou noir supermassif** qu'elles comportent en leur centre. Le phénomène en cause est appelé la *précipitation cosmique*.

C'est avec le télescope spatial **Chandra X-Ray Observatory** que cette découverte a pu être faite et rapportée prochainement dans la revue *Nature* quelques semaines après une première publication sur le même sujet dans *the Astrophysical Journal Letters*.

On savait depuis un moment que le trou noir supermassif d'une galaxie avait un effet sur le grossissement de certaines galaxies, mais c'est aujourd'hui la première fois que l'on parvient à démontrer l'existence du phénomène physique en cause. La précipitation cosmique est un phénomène qui, à partir de gaz chaud, crée des sortes de pluies de gaz froid au sein d'une galaxie, qui ont un effet direct sur le trou noir supermassif, qui produit alors une réaction sur ce même gaz.



L'amas Abell 2597, un des 200 amas de galaxies étudiés par M. Voit et al. (NASA/CXC/DSS/Magellan)

L'équipe menée par Mark Voit de la *Michigan State University* a exploré les émissions de rayons X de plus de 200 amas de galaxies, et plus particulièrement les plus grosses galaxies au sein de ces amas, celles qui baignent littéralement dans un milieu de gaz chaud. Normalement, ce gaz chaud devrait petit à petit se refroidir et former de nouvelles étoiles, mais les observations montrent qu'il n'en est rien, quelque chose empêche la formation d'étoiles.

Les astrophysiciens américains montrent que c'est le trou noir supermassif qui est en cause : sous certaines conditions, le gaz très chaud qui l'entoure rayonne, se refroidit, et produit des nuages froids qui se mélangent avec le gaz chaud aux alentours. Certaines condensations forment des étoiles mais d'autres précipitent vers le trou noir. Ces précipitations sur le trou noir déclenchent des jets de particules énergétiques qui repoussent alors le gaz qui est en train de tomber vers le trou et le réchauffent. Une fois le gaz réchauffé, la formation d'étoiles est inhibée.

Ce cycle de refroidissements-réchauffages produit au final une boucle de rétroaction qui régule le grossissement des galaxies.

2015, L'année Trou Noir

Dans leur étude, Voit et ses collègues ont mesuré combien de temps il faudrait au gaz pour refroidir à différentes distances du trou noir. Ils ont ainsi pu déterminer la "météo" autour de chacun des trous noirs étudiés.

Ils trouvent que les boucles de rétroaction de précipitation générées par l'énergie des jets des trous noirs empêchent les pluies de nuages de gaz froid de devenir trop importantes. Plus du gaz froid tombe sur le trou noir, plus ce dernier produit des jets de particules qui réchauffent ce gaz.

Les données obtenues semblent indiquer que cette régulation de la précipitation de gaz froid a lieu au moins depuis les 7 derniers milliards d'années...

Il est clair que sans la présence de trous noirs supermassifs, les amas de galaxies auraient beaucoup plus d'étoiles qu'ils n'en ont aujourd'hui. Les chercheurs ont également mis le doigt sur certaines exceptions, où la précipitation cosmique de gaz froid paraît inexistante, l'intense échauffement dans ces galaxies centrales, potentiellement produit par une collision entre deux amas de galaxies, semble avoir vaincu tout refroidissement.

Il reste maintenant à savoir si le même phénomène de précipitation en boucle de rétroaction a lieu aussi au sein de petites galaxies comme la Voie Lactée.

Sources :

Cooling time, freefall time, and precipitation in the cores of ACCEPT galaxy clusters
G. Mark Voit and Megan Donahue
ApJ Letters 799 L1 (2015)
<http://chandra.harvard.edu/>

Publié le mercredi 4 mars 2015

Simulation réaliste (et observation) d'un couple de trous noirs supermassifs en voie de fusion

Presqu'au même moment où l'on apprend la mise en évidence de ce qui ressemble au couple de trous noirs supermassifs le plus serré "vu" à ce jour, une équipe de chercheurs américains publie ses résultats sur des simulations innovantes, justement appliquées à la fusion de deux trous noirs supermassifs très très proches l'un de l'autre.

C'est la première fois qu'une telle simulation est effectuée, prenant en considération toutes les subtilités des équations de la Relativité Générale. L'équipe de Stuart Shapiro, de l'université d'Illinois s'est attachée à simuler à la fois les phénomènes gravitationnels, mais aussi les rayonnements des disques de matière magnétisée accompagnant les deux trous noirs, en appliquant les équations magnétohydrodynamiques en champ gravitationnel relativiste. Ils parviennent ainsi à produire un rendu en 3 dimensions, qu'ils ont produit sous forme d'une animation, d'une part montrant le mouvement des corps, et d'autre part l'évolution de l'émission d'ondes gravitationnelles qui accompagne inéluctablement une telle fusion de trous noirs, surtout lorsqu'ils sont supermassifs. Ces animations viennent d'être présentées lors d'une conférence de l'American Physical Society, à Baltimore, la semaine dernière.

Le tout nouveau couple putatif de trous noirs supermassifs très proches l'un de l'autre serait formé de deux bébés de 10 milliards de masses solaires, et découvert grâce à l'observation de signaux périodiques en provenance d'un quasar situé à plus de 10 milliards d'années lumière et qui répond au nom de PSO J334.2028+01.4075. Cette étude est, quant à elle, parue également la semaine dernière, dans *The Astrophysical Journal Letters*.

Normalement, l'intensité lumineuse d'un quasar est variable, mais elle varie aléatoirement, sans aucune logique. Ce qu'ont observé Tingting Liu de l'université du Maryland et son équipe, grâce au télescope hawaïen Pan-STARRS (Panoramic Survey Telescope & Rapid Response System), c'est la présence d'une variation périodique dans le signal lumineux de PSO J334.2028+01.4075, avec une période de 542 jours. La seule solution possible à ce phénomène périodique selon les auteurs est l'existence d'un système binaire de trous noirs supermassifs. Et la période orbitale permet d'en déduire la masse et la distance qui sépare les deux objets. Cette distance de séparation ne vaudrait d'après les auteurs que 7 fois le rayon de Schwarzschild, soit à peine 0,02 années-lumière. C'est si proche qu'on peut parler en kilomètres... ça fait 186 milliards de kilomètres.

2015, L'année Trou Noir

Ce qui conforte également Tingting Liu et ses collègues, c'est que ce couple de trous noirs supermassifs (ce quasar, en fait) se trouve exactement à l'époque de ce qu'on appelle le pic de fusions de trous noirs supermassifs, là où ce type d'événements est le plus fréquent.

La recherche systématique de variations périodiques de quasars n'en est qu'à ces tout débuts. La suite du programme initié avec le télescope PanSTARRS devrait étudier environ 1000 quasars répartis sur 80 degrés² du ciel, et en 2023, la Large Synoptic Sky Survey fera le même type de recherches mais avec un volume plus de 1000 fois plus grand, devrait suivre plusieurs dizaines de millions de quasars et trouver probablement plusieurs milliers de couples de trous noirs supermassifs par cette méthode.

Si la chance nous sourit, nous pourrions peut-être assister dans quelques années en direct à la fusion de deux trous noirs supermassifs qui auront été découverts juste avant leur tango infernal, et nous pourrions alors confronter les belles simulations avec la réalité.

Sources :

3D simulations of colliding black holes hailed as most realistic yet
Ron Cowen
Nature (20 April 2015)

A periodically varying luminous quasar at $z = 2$ from the Pan-STARRS 1 Medium Deep Survey: a candidate supermassive black hole binary in the gravitational wave-driven regime
Tingting Liu et al.
The Astrophysical Journal Letters, 803:L16 (6pp), 20 April 2015

Publié le Mardi 21 Avril

Découverte de trous noirs supermassifs cachés

Un **trou noir supermassif** est supposé exister au centre de chaque galaxie. Or nous ne parvenons pas à 'détecter leur présence dans chaque galaxie, notamment du fait que les rayons X caractéristiques produits par la matière en train de tomber en tournant à très grande vitesse autour du trou peut être très atténuée par du gaz et des poussières.

Mais ça c'était avant... car nous disposons aujourd'hui d'un télescope à rayons X dits "durs", des rayons X d'énergie suffisante pour qu'ils puissent traverser assez facilement de grandes quantités de gaz et de poussière. Une équipe de chercheurs britanniques a su intelligemment exploiter le télescope **NuSTAR** (*Nuclear Spectroscopic Telescope Array*) de la NASA pour découvrir toute une population de trous noirs supermassifs qui étaient jusque là indétectables par nos moyens



Image du télescope spatial Hubble de l'une des 9 galaxies observées avec NuSTAR où a été découvert un trou noir supermassif jusque là caché derrière d'épaisses couches de poussière et de gaz (Hubble Legacy archive/NASA/ESA)

d'observation. La découverte viens d'être annoncée lundi dernier lors de la réunion nationale de la *Royal Astronomical Society* qui se tient à Llandudno au Pays de Galles.

Les astronomes de l'université de Durham, menés par George Lansbury, ont détecté 5 trous noirs supermassifs sur les 9 cibles qu'ils avaient choisies de scruter et qui sont des galaxies actives ayant une bonne probabilité d'abriter un trou noir supermassif, mais sans aucun signe a priori.

Les 5 trous noirs supermassifs trouvés paraissent plus actifs qu'initialement envisagé par les astrophysiciens, et sont bel et bien "obscurcis" par de grandes quantités de gaz et de poussières dans leur bulbe galactique. NuSTAR, qui est en orbite depuis 2012, permet ce type de détection grâce à sa capacité unique de collecter des rayons X de plus grande énergie que ces prédécesseurs comme XMM Newton par exemple : entre 3 et 79 keV, ce qui lui offre un moyen de "voir" à travers les nuages de gaz et de poussière.

La mise en évidence de la présence de ces 5 trous noirs supermassifs "cachés" peut sembler être une petite quantité, mais lorsque l'on extrapole ce résultat à l'ensemble de l'univers, le nombre prédit devient énorme et confirme l'idée de la présence d'un trou noir supermassif par galaxie.

2015, L'année Trou Noir

Les galaxies qui semblent ne pas montrer de trou noir supermassif émettant des rayons X seraient donc soit trop poussiéreuses, ou bien leur trou noir trop calme pour chauffer un disque d'accrétion et émettre des rayons X.

L'étude de George Lansbury et ses collègues a été acceptée pour publication dans *The Astrophysical Journal*.

Source :

Communiqué de la Royal Astronomical Society

Publié le mercredi 8 juillet 2015

Observation d'un trou noir supermassif géant dans une petite galaxie à 11,8 milliards d'années-lumière

Rien ne va plus dans le modèle de formation des galaxies, c'est ce que semble indiquer la très récente découverte d'un **trou noir supermassif de 7 milliards de masses solaires** dans une petite galaxie, lorsque l'univers n'était âgé que de 2 milliards d'années. La masse de ce trou noir géant fait à lui seul 14% de la masse totale des étoiles de la galaxie...



Vue d'artiste de CID-947 (Michael S. Helfenbein/Yale)

Le modèle généralement admis est un modèle de **coévolution** : les trous noirs supermassifs situés au centre des galaxies doivent grossir en même temps que la galaxie hôte produit des étoiles et grossit elle aussi. La masse du trou noir supermassif en fin d'évolution atteint généralement 0,2 à 0,5% de la masse stellaire de la galaxie hôte. On estime que le rayonnement qui est produit indirectement par le trou noir a un

effet de rétro-action sur la formation des étoiles dans toute la galaxie. Mais cette nouvelle observation étonnante vient rebattre les cartes de ce modèle de coévolution, au moins à l'époque de l'univers jeune.

Ce qui apparaît, c'est que ce trou noir supermassif a grossi beaucoup plus vite que sa galaxie. Benny Trakhtenbrot de l'institut d'astronomie de l'École Polytechnique fédérale de Zurich et son équipe internationale ont utilisé le télescope Hawaïen Keck de 10 m pour observer la galaxie **CID-947** dans le proche infra-rouge grâce au spectrographe MOSFIRE qui leur a permis d'observer la large raie d'émission H β de l'hydrogène.

Les signes de la présence d'un trou noir supermassif dans CID-947 avaient été détectés il y a quelques années tout d'abord par le télescope Hubble puis confirmés par des mesures en rayons X grâce à XMM Newton et Chandra. Avec ses 7 milliards de masses solaires, le trou noir de CID-947 est bien supermassif et fait même partie des plus gros trous noirs jamais découverts. Mais ce qui a surpris le plus les astronomes, c'est surtout la masse de la galaxie hôte, CID-947. Alors qu'ils s'attendaient avec un trou noir pareil à trouver une galaxie géante de plusieurs milliers de milliards de masses solaires, au contraire, cette dernière est tout à fait normale. La masse de CID-947 a même dû être vérifiée de plusieurs manières indépendantes pour être sûr qu'il n'y avait pas erreur. Et il n'y a pas erreur, elle ne « pèse » que environ 50 milliards de masses solaires en étoiles.

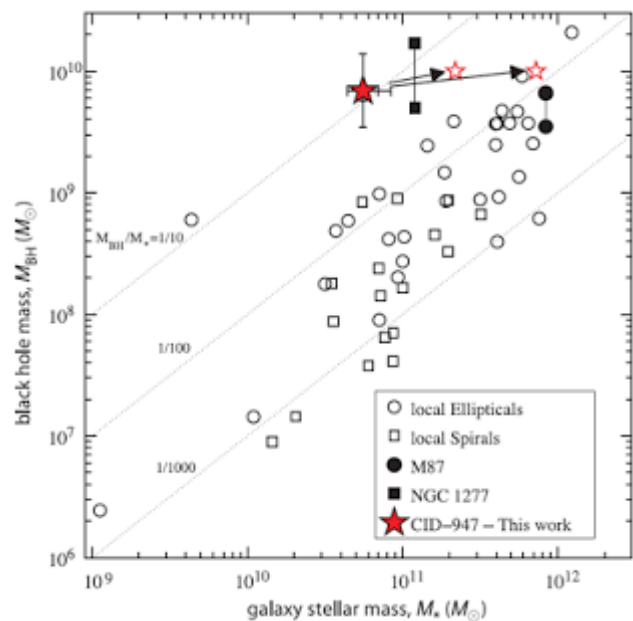
Dans les galaxies observées à une époque plus récente, on voit pourtant bien une corrélation entre le nombre d'étoiles et la masse du trou noir supermassif central, ce qui a mené les astrophysiciens, grâce également à d'autres effets, à considérer que la croissance des trous noirs supermassifs est liée à la formation d'étoiles. Ce modèle semble d'autant plus raisonnable quand on sait que les étoiles et le trou noir supermassif ont le même réservoir de matière à leur disposition : le gaz froid remplissant les galaxies. Par ailleurs, il a été clairement montré il y a quelques années que le rayonnement produit par le disque d'accrétion d'un trou noir supermassif en cours de croissance contrôlait, voir pouvait stopper la formation d'étoiles en chauffant le gaz froid galactique.

Le trou noir supermassif de CID-947 semble être arrivé en fin de croissance d'après des mesures en rayons X obtenues avec le télescope spatial Chandra X-ray Observatory qui permettent d'évaluer son taux d'accrétion, de l'ordre de 10% seulement de la limite d'Eddington (qui est le taux maximal d'accrétion d'un trou noir). Le fait qu'il pèse déjà 14% de la masse stellaire de sa galaxie signifie qu'il a grossi beaucoup plus vite et efficacement que cette dernière (en termes de formation d'étoiles).

Cette observation contredit clairement le modèle de formation par coévolution. On pourrait penser que le rayonnement et les flux propulsés par le trou noir empêchent fortement la formation d'étoiles pour une raison encore inconnue, or il n'en n'est rien, la formation d'étoiles dans CID-947 est conforme à ce que l'on attend et se poursuit normalement à un rythme de 400 masses solaires par an.

D'après les auteurs de cette étude, qui paraît dans la revue américaine *Science*, même si le trou noir s'est arrêté de grossir fortement et que la formation d'étoiles se poursuit, le rapport des masses trou noir/galaxie restera très grand dans le futur et ne pourra jamais atteindre les valeurs habituellement observées.

Benny Trakhtenbrot et ses collaborateurs pensent que CID-947 peut représenter le type de progéniteur des plus grosses galaxies que l'on peut observer dans l'univers proche, qui possèdent environ 500 milliards de masses solaires en étoiles. Ces galaxies auraient tout d'abord connu un fort grossissement de leur



Masses de trous noirs supermassifs en fonction de la masse stellaire de leur galaxie hôte, le cas de CID-947 est figuré par l'étoile rouge (B. Trakhtenbrot et al./ Science)

2015, L'année Trou Noir

trou noir, puis seulement après une augmentation de leur nombre d'étoiles sans effet négatif du trou noir sur leur formation. Le modèle de formation des galaxies par co-évolution serait alors dépendant de la masse initiale du trou noir supermassif.

Les astrophysiciens devraient maintenant essayer d'en savoir d'avantage sur ce monstre et sa galaxie ainsi que sur d'autres spécimens du même type grâce notamment à l'utilisation du réseau de radiotélescopes ALMA.

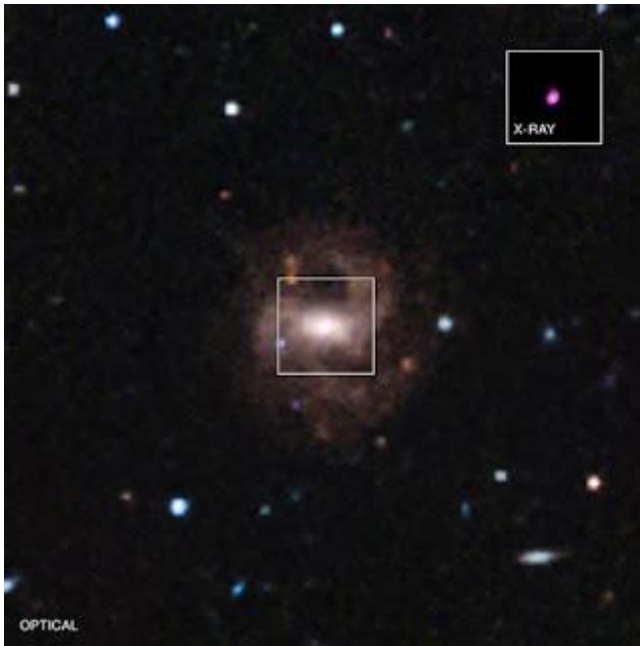
Source :

An over-massive black hole in a typical star-forming galaxy, 2 billion years after the Big Bang
B. Trakhtenbrot et al.
Science 10 July Vol. 349 no. 6244 (2015) pp. 168-171

Publié le vendredi 10 juillet 2015

Découverte du plus petit trou noir supermassif à ce jour

L'une des grandes questions de l'astrophysique aujourd'hui est de savoir comment **les trous noirs supermassifs**, ces monstres qui peuvent atteindre plusieurs dizaines de milliards de masses solaires au centre des galaxies parviennent à grossir de la sorte, et d'où viennent-ils, au fond ?



RGG 118, observée en visible et en rayons X
(X-ray: NASA/CXC/Univ of Michigan/V.F.Baldassare,
et al; Visible: SDSS;
Illustration: NASA/CXC/M.Weiss)

La découverte du trou noir supermassif le plus petit jamais entrevu à ce jour vient d'être acceptée pour publication dans *The Astrophysical Journal Letters* par une équipe de quatre astrophysiciennes américaines grâce à l'utilisation conjointe du télescope spatial *Chandra X-ray Observatory* et du télescope *Clay* de 6,5 m, installé au Chili. La masse de ce tout petit trou noir supermassif n'est que de **50 000 masses solaires**, et il se trouve bien au centre de sa galaxie, nommée **RGG 118**. Le précédent record de petitesse était environ le double en masse, soit 100 000 masses solaires. Cette découverte est importante car elle

devrait permettre de mieux comprendre comment les trous noirs de différentes masses grossissent. Pour fixer les idées, ce trou noir de RGG 118 est environ 100 fois moins gros que Sgr A*, le trou noir supermassif de notre galaxie, qui n'est déjà pas réputé pour être très gros. La galaxie hôte de ce trou noir, RGG 118, est elle-même une galaxie naine, qui se trouve à 340 millions d'années-lumière.

La masse du trou noir a pu être estimée par les astrophysiciennes grâce à la mesure de la vitesse du gaz froid à proximité du centre de la galaxie, en lumière visible. Elles ont ensuite observé les rayons X qui en provenaient pour trouver que l'émission de gaz chaud spiralant vers le trou noir montrait une pression de radiation en accord avec ce qui était attendu pour un trou noir supermassif. Par ailleurs, la relation entre les vitesses des étoiles autour du trou noir et sa masse est conforme avec ce qui est observé dans d'autres cas de trous noirs supermassifs. Ce que montrent Vivienne Baldassare de l'Université du Michigan et ses collègues, c'est que ce tout petit trou noir supermassif se comporte tout à fait comme les gros trous noirs de plusieurs millions ou milliards de masses solaires,

2015, L'année Trou Noir

ce qui indiquerait que le processus de grossissement serait indépendant de la taille du trou noir au temps t .

Les deux scénarios alternatifs dominants actuellement pour la formation des premiers trous noirs supermassifs sont :

- 1) la formation de trous noirs "graines" par l'effondrement de gigantesques nuages de gaz ayant une masse entre 10 000 et 100 000 masses solaires,
- 2) la formation de graines par l'effondrement d'étoiles géantes d'environ 100 masses solaires.

Il surviendrait ensuite dans les deux cas une succession de fusions de ces trous noirs, devenant ainsi de plus en plus gros...

La découverte du trou noir de RGG 118 pourra peut-être permettre de décider lequel des deux scénarios est le bon, c'est en tous cas ce qu'espèrent de nombreux astrophysiciens. Mais la quête de trous noirs supermassifs toujours plus petits continue, car dans ce domaine comme dans d'autres, la quantité de données s'avère toujours primordiale pour construire un modèle robuste.

Source :

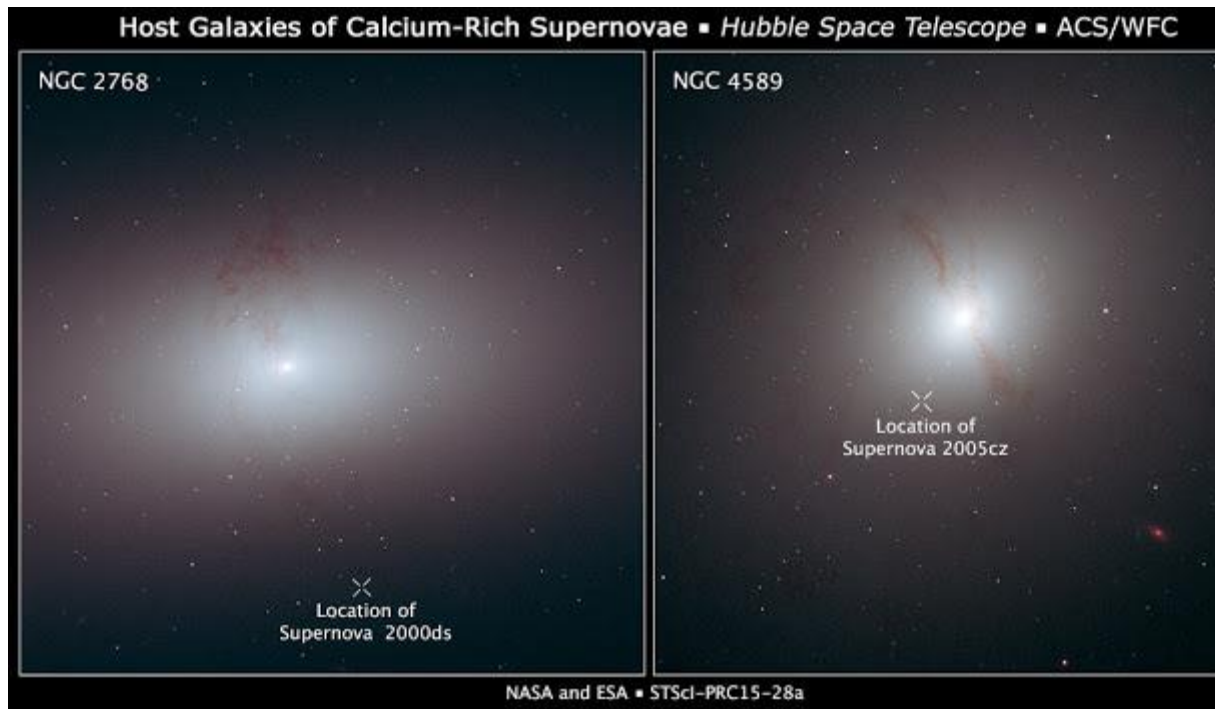
A ~50,000 solar mass black hole in the nucleus of RGG 118
Vivienne Baldassare et al.
à paraître dans The Astrophysical Journal Letters

Publié le dimanche 16 août 2015

Quand des trous noirs font exploser des étoiles à distance

On ne soupçonne pas le pouvoir que peuvent avoir les trous noirs supermassifs. Une toute nouvelle analyse de 13 supernovas très inhabituelles, des explosions qui n'auraient pas dues avoir lieu et en des endroits peu communs, montre qu'un trou noir supermassif n'y serait pas pour rien.

Cette histoire a commencé en 2000 lorsque des astrophysiciens découvrirent des supernovas qui avaient explosé en dehors de galaxies, et qui plus est il s'agissait d'étoiles jeunes qui n'auraient pas encore dû atteindre le stade de supernova. C'était depuis lors devenu un vrai petit mystère insoluble. Ryan Foley de l'Université d'Illinois a émis l'idée que ces étoiles avaient dûes migrer en dehors de leur galaxie avant d'exploser et que peut-être que le mécanisme à l'origine de cette éjection était aussi à l'origine de l'explosion prématurée...



Exemples de supernovas riches en calcium éloignées de leur galaxie d'origine
(NASA, ESA, and R. Foley, University of Illinois)

Afin de tester son idée, l'astronome, seul aux commandes, s'est intéressé à la vitesse de ces étoiles avant qu'elles n'exploient en fouillant les archives de trois grands télescopes, celui du Lick Observatory en Californie et les hawaïens Keck et Subaru. Ce qu'il a découvert c'est que ces étoiles se déplaçaient à très grandes vitesses, semblables à celles des étoiles qui sont éjectées de notre Galaxie par

2015, L'année Trou Noir

notre trou noir supermassif. Pour donner un chiffre, disons 7 millions de kilomètres par heure (ça calme).

Ryan Foley s'est ensuite intéressé aux galaxies qui étaient les plus proches de ces supernovas si particulières, classées sous le terme "supernovas riches en calcium". Il a pour cela utilisé les données de Hubble, et ce qu'il a vu était que dans tous les cas, il s'agissait de grosses galaxies en train de fusionner ou de galaxies elliptiques ayant récemment fusionné. Et d'autres indices allaient dans le même sens, comme par exemple la présence dans de nombreux cas d'un ou plusieurs trous noirs supermassifs très actifs, nourris par de la matière fraîche issue de la collision galactique.

Par ailleurs, un point commun de ces différents cas est que ces galaxies se trouvent dans un environnement dense au cœur d'amas de galaxies, le lieu privilégié pour des fusions de galaxies...

A partir de ces différents indices, le scénario élaboré par Foley est le suivant : deux vieilles galaxies contenant donc pas mal d'étoiles doubles se rapprochent l'une de l'autre et fusionnent. Lors de la fusion, les deux trous noirs supermassifs se rapprochent inéluctablement l'un de l'autre en spiralant l'un vers l'autre. Se faisant, ils emportent avec eux tout un cortège d'étoiles qui se trouvent suffisamment près d'eux pour être piégées gravitationnellement. Mais lorsque les deux trous noirs se retrouvent vraiment très près l'un de l'autre, une étoile binaire en orbite autour du premier peut se retrouver très près aussi du second, et les effets gravitationnels à trois ou quatre corps, dont deux supermassifs, étant ce qu'ils sont, il peut tout simplement arriver une violente éjection de l'étoile binaire à grande vitesse en dehors du plan de la galaxie.

Et le scénario n'est pas fini, ce faisant, le couple d'étoiles est également déstabilisé, ce qui induit que les deux étoiles se rapprochent aussi l'une de l'autre au cours de leur éjection de la galaxie. Et au bout d'un moment, les deux étoiles, dont une naine blanche préférentiellement, sont trop proches et fusionnent à leur tour, et la naine blanche ne le supporte pas, c'est l'explosion, la supernova.

La durée écoulée entre l'éjection et l'explosion est de l'ordre de 50 millions d'années, alors qu'un couple de naines blanches tranquille peut théoriquement durer plusieurs milliards d'années.

Des éjections d'étoiles peuvent avoir lieu aussi avec un seul trou noir supermassif comme je l'ai déjà mentionné avec par exemple Sgr A*. On estime que notre trou noir supermassif éjecte ainsi une étoile par siècle. Mais avec deux trous noirs supermassifs en interaction gravitationnelle, la probabilité se retrouve multipliée par 100 !

2015, L'année Trou Noir

Mais ces supernovas très particulières cachent semble-t-il encore quelques mystères... Elles ont une luminosité systématiquement plus faible que leurs congénères plus classiques, et par ailleurs elles semblent stopper leur fusion thermonucléaire à la production du calcium au lieu de continuer jusqu'au fer comme les supernovas "normales". Elles éjectent également moins de matière lors de l'explosion. Des questions à même de donner encore un peu de travail aux meilleurs scénaristes de l'astrophysique.

Source :

Kinematics and host-galaxy properties suggest a nuclear origin for calcium-rich supernova progenitors

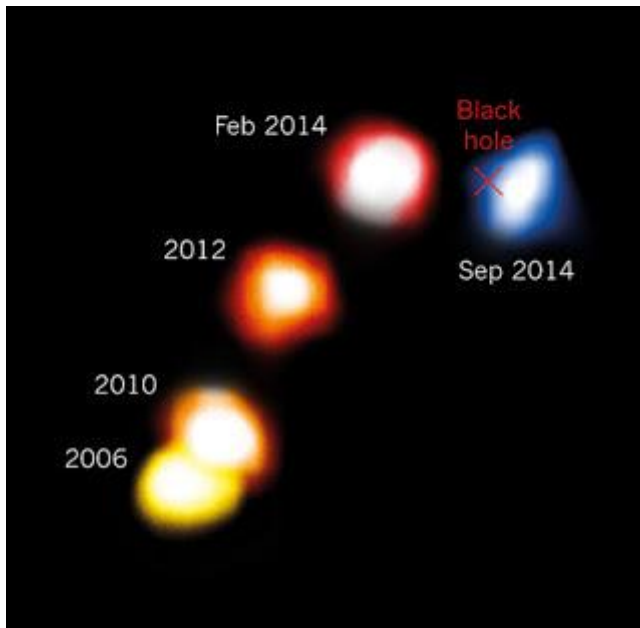
Ryan J. Foley

Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 452, 2463–2478 (2015)

Publié le mardi 18 août 2015

Retour sur le mystère de G2, survivant de Sgr A*

Vous vous souvenez sans doute de la saga de **G2**... J'avais relaté [en janvier 2012](#) l'observation de cet étrange chose qui se déplaçait très vite vers **le trou noir de notre Galaxie, Sgr A***. Alors que les astrophysiciens pensaient tenir là un gros nuage de gaz qui allait être avalé par le trou noir dans un feu d'artifice de rayons X, un phénomène très rare si proche, et donc hyper intéressant, il ne s'était absolument rien passé (voir [ici](#) et [là](#))... Au lieu d'être disloquée, la "chose", G2, est passée à proximité de Sgr A* et est bien toujours là dans son entièreté. Et on ne sait toujours pas ce que c'est.



Evolution de G2 depuis 2006, la couleur montre la vitesse, en rouge un éloignement, en bleu un rapprochement (ESO, Nature)

Mais on essaye de le savoir, car cet objet est trop étrange. Le fait que cette sorte de nuage de gaz ait survécu à son passage au plus près du trou noir supermassif indique une chose : il doit connaître une certaine attraction gravitationnelle interne, autrement dit il doit être "lié". Il faut savoir que différentes équipes d'astronomes ont essayé de déterminer la nature de ce G2 à partir de ce qu'on pouvait déduire des observations, La plus logique était une étoile supergéante engoncée dans le nuage de gaz, mais cette hypothèse n'a pas pu être validée.

Aujourd'hui, une équipe italienne propose dans une étude parue dans *The Astrophysical Journal* une nouvelle solution pour expliquer G2 : au centre du nuage de gaz pourrait se trouver un **embryon planétaire** qui aurait été éjecté de son système stellaire. Cet ensemble aurait la taille de l'orbite terrestre autour du Soleil.

Il faut comprendre une chose, c'est que le centre galactique ne ressemble en rien à l'environnement proche du Soleil. La densité d'étoiles y est multipliée par un million, des anciennes étoiles de faible masse principalement, mais aussi une plus petite population d'étoiles massives, jeunes et lumineuses (d'environ 10 millions d'années) qui sont entourées d'un anneau de gaz moléculaire ayant une masse équivalente à plusieurs dizaines de milliers de masses solaires.

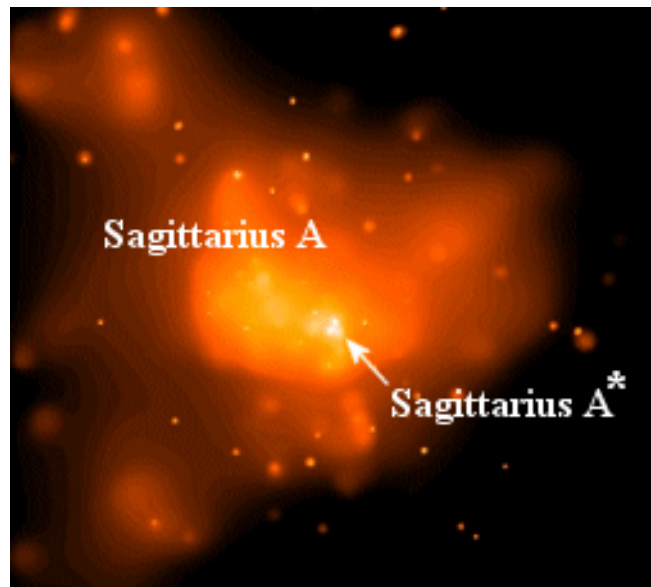
Quand G2 a été détecté pour la première fois entre 2006 et 2010, son orbite future avait pu être prédite et montrait qu'il devait passer très près de Sgr A* au printemps 2014, ce qui avait suscité une excitation certaine parmi les astrophysiciens (et sur *Ça Se Passe Là-Haut* !), car cela voulait dire qu'on allait voir ce qui allait se passer, c'est-à-dire suivre en temps réel les effets du trou noir supermassif.

Allait-on voir une intense émission de rayons X avec la formation d'une accrétion, ou bien la formation de jets de matière comme ce que l'on voit avec les quasars ? Un an après son passage au plus proche du point théorique du centre de la Galaxie (le trou noir Sgr A*) qui a eu lieu en mai 2014, nous pouvons affirmer que rien de tel ne s'est produit, il n'y a pas eu d'accrétion de gaz autour de Sgr A* à même de produire quelque chose d'observable. Mais c'est tout de même intéressant car c'est une donnée qui permet d'aider à comprendre ce qu'est ce fameux G2.

A part la première hypothèse d'une étoile supergéante dans une large enveloppe de gaz, il avait été proposé d'autres scénarios pour expliquer G2. Le premier d'entre eux, un peu complexe, était que ce serait en fait le front d'une onde de choc produite par l'interaction du vent stellaire d'une étoile de faible masse située à l'intérieur du nuage avec le plasma situé aux alentours.

Un autre scénario intéressant était qu'il se serait agi d'une étoile déchirée par les effets de marée intenses produits par le trou noir supermassif. Une autre hypothèse mentionnait également la fusion de deux étoiles.

C'est surtout le fait que G2 ait réémergé de l'autre côté du trou noir en étant intact qui aide à comprendre. La zone du spectre où G2 est le mieux détecté est dans les infra-rouges (longueurs d'ondes comprises entre 2 et 5 microns). Même si sa luminosité est faible (sa luminosité intrinsèque étant 30 fois inférieure à celle du Soleil), elle montre une émission typique de poussières à la température d'environ 500 K. Une hypothèse plausible, étant donné qu'il s'agit forcément d'un objet lié gravitationnellement, est que G2 contienne une petite étoile très jeune entourée par un disque de poussières. Un excès d'émission infra-rouge est en effet, chez les étoiles jeunes, un indice fort d'extrême jeunesse, et de telles étoiles ont déjà pu être observées justement dans cette région du centre galactique.



La zone de Sagittarius A imagé par Chandra
(Chandra X Ray Observatory)

Mais la proposition de Michela Mapelli et Emanuele Ripamonti va plus loin. Selon eux il n'y aurait tout simplement pas d'étoile au sein de G2. **Il s'agirait d'un système protoplanétaire qui aurait été éjecté de son étoile suite à une rencontre malencontreuse avec une autre étoile** dans ce milieu si propice à des interactions gravitationnelles déstabilisantes. Le système protoplanétaire, un vaste amas de gaz et de poussières, resterait lié par sa propre gravité. G2 dériverait depuis lors et se serait retrouvé par hasard à proximité immédiate de Sgr A*.

De tels objets sont normalement invisibles directement, mais lorsque les forces de marée d'un trou noir supermassif commencent à les déformer, ils peuvent briller un peu plus que d'ordinaire. Mapelli et Ripamonti ont fait le calcul sur la base d'un tel objet, embryon protoplanétaire de masse comprise entre 10 et 100 masses joviennes, et montrent qu'il devient détectable et ressemble à s'y méprendre à ce qui est observé quand on regarde G2. Cela implique que les couches extérieures du nuage de gaz et de poussières soient déformées ou arrachées par les forces gravitationnelles du trou noir, donc chauffées, puis ionisées par le milieu interstellaire (où ne manquent pas les ultra-violets des jeunes étoiles voisines pour le faire).

Cette nouvelle hypothèse doit maintenant être confirmée par d'autres observations. Un suivi en continu du centre galactique est notamment mené par le réseau **ALMA** au Chili et par le **Jansky Very Large Array** au Nouveau Mexique. Ces grands instruments devraient apporter des informations sur G2, complémentaires à celles, déjà riches, obtenues dans l'infra-rouge.

Sources :

Signatures of Planets and Protoplanets in the Galactic Center: A Clue to Understanding the G2 Cloud?

Michela Mapelli and Emanuele Ripamonti
Astrophys. J. 806, 197 (2015).

Astrophysics: Mystery survivor of a supermassive black hole

John Bally

Nature 524, 301–302 (20 August 2015)

Trous Noirs : La nouvelle idée de Stephen Hawking pour résoudre le paradoxe de l'information

C'est l'une des questions les plus énigmatiques qui reste sans réponse aujourd'hui dans la physique des **trous noirs** : que devient l'information sur l'état physique des particules qui sont absorbées par un trou noir ? La relativité générale dit que l'information est détruite, la mécanique quantique dit que toute information ne peut jamais être détruite. Il y a là une contradiction ou un paradoxe, c'est ce qu'on appelle *le paradoxe de l'information*. **Stephen Hawking** a beaucoup travaillé sur ce problème, seul ou avec des collègues théoriciens. Il vient de proposer il y a deux jours une nouvelle idée pour répondre à cette question lancinante.



A. Strominger, S. Hawking et M. Perry (photo A. Zytko)

Hawking a proposé cette nouvelle idée mardi dernier à Stockholm au cours d'un séminaire organisé par la physicienne Laura Mersini-Houghton de l'Université de Caroline du Nord, et par le KTH Royal Institute of Technology et l'Université de Stockholm. Y sont réunis une trentaine de physiciens théoriciens parmi les meilleurs spécialistes des

trous noirs.

L'idée de Hawking, qu'il a étudiée et développée avec les théoriciens Malcolm Perry de Cambridge et Andrew Strominger de Harvard, indique que **l'information serait en fait bien préservée mais qu'elle ne pénétrerait pas à l'intérieur de l'horizon du trou noir ; elle serait conservée (encodée) à sa surface sous la forme d'un hologramme à 3 dimensions**. Rappelons que l'horizon d'un trou noir est l'endroit à partir duquel plus rien ne peut en sortir et qu'un hologramme est une représentation d'un objet de dimension N dans un objet de dimension $N-1$. L'idée d'un hologramme à la surface des trous noirs est issues de travaux en théorie des cordes où il avait montré que l'horizon d'un trou noir peut contenir un hologramme à 3 dimensions (deux dimensions spatiales et une de temps) qui représente parfaitement l'espace-temps à 4 dimensions de l'intérieur du trou noir. Par ailleurs, on se souvient des travaux pionniers de Jacob Bekenstein, récemment disparu, montrant que l'entropie d'un trou noir est proportionnelle à sa surface. Et entropie et information sont deux entités identiques à une constante près... (la constante de Boltzmann).

La théorie résumée par Stephen Hawking mardi stipule que l'information quantique est stockée sur l'horizon du trou noir sous la forme de ce qui sont

2015, L'année Trou Noir

appelées des « super translations ». Les super translations ont été conceptualisées en 1962, et seraient ici un hologramme des particules tombant dans le trou noir, elles en contiendraient donc toute l'information qui sinon serait définitivement perdue.

D'après Andrew Strominger, on peut se représenter ce processus par une sorte de surface de photons situés exactement sur la surface de l'horizon, ils sont juste en équilibre entre la chute dans le trou noir et l'échappement. Quelle que soit la taille du trou noir même lorsqu'il grossit, cette surface de lumière est toujours présente. A chaque fois qu'une particule quelconque traverse l'horizon, elle laisse une empreinte sur cette surface, en modifiant légèrement l'ensemble de la surface de lumière qui se réarrange, produisant une « super-translation ».

Cette information pourra ensuite être renvoyée vers le reste de l'Univers bit par bit lorsque le trou noir rayonne en produisant des fluctuations quantiques (le rayonnement de Hawking), mais dans une forme chaotique. L'information est donc bien toujours là, mais, dans la pratique, comme l'a dit Hawking, c'est comme si elle était perdue car elle est inexploitable, où comment chercher la capitale du Minnesota dans une encyclopédie que l'on vient de réduire en cendres après l'avoir jetée dans la cheminée... Strominger précise que le grand challenge sera de démontrer que les super translations ont la capacité de stocker l'énorme quantité d'informations requise pour conserver non pas seulement une petite partie mais bien tout le contenu avalé par le trou noir.

Les physiciens espèrent bien que la résolution de ce paradoxe de l'information, si cette idée s'avère correcte, les aidera à comprendre comment fonctionne la gravitation aux échelles où la mécanique quantique gouverne.

Stephen Hawking a promis la publication de la théorie, avec tous ces détails, dans quelques semaines ... Il est donc probable que nous en reparlions bientôt.

Découverte d'un nouveau trou noir de masse intermédiaire

Les **trous noirs de masse intermédiaire**, de quelques milliers de masses solaires, semblent bien exister malgré leur difficile mise en évidence. Un nouveau spécimen vient d'être découvert par des astronomes américains. C'est donc bien à une troisième famille de trous noirs que nous avons affaire.



Zone centrale de NGC 1313 où se trouve NGC1313 X-1 (ESO)

La très grande majorité des trous noirs que nous parvenons à "voir", à détecter par leurs effets indirects sur leur environnement, sont soit petits, de quelques masses solaires, ou soit gigantesques, de quelques millions à quelques dizaines de milliards de masses solaires. Les premiers se trouvent au sein de notre galaxie dans notre voisinage proche et sont des vestiges d'étoiles explosées et les seconds se trouvent au centre de presque chaque galaxie.

Une grande question que les astrophysiciens se posent est de savoir comment on peut parvenir à de si énormes trous noirs à partir de si petits à l'origine. Depuis quelques années, des indices de la présence de trous noirs de masse intermédiaire, de quelques milliers à quelques dizaines de milliers de masses solaires, se sont fait jour. Mais pour certains d'entre eux, il ne s'est agi que de fausse découverte, montrant seulement un trou noir classique avec une exceptionnelle émission de rayons X laissant penser à un objet de beaucoup plus grande masse. De fait, il n'existe actuellement que 6 candidats au titre de trou noir intermédiaire.

Récemment, en août 2014, une équipe d'astrophysiciens menée par Dheeraj Pasham, jeune chercheur de l'Université du Maryland, avait réussi à mettre le doigt sur un tel trou noir (M82 X-1) qui a une masse de 400 masses solaires, grâce à l'utilisation du satellite RXTE (Rossi X Ray Timing Explorer) de la NASA. Et aujourd'hui, un an plus tard, la même équipe est fière d'annoncer la découverte d'un nouveau trou noir intermédiaire, cette fois-ci ayant une masse de l'ordre de **5000 masses solaires**. Cette étude effectuée grâce à l'utilisation du télescope spatial européen *XMM-Newton*, est parue il y a quelques jours dans *Astrophysical Journal Letters* et on y apprend que ce nouveau très sérieux candidat de trou noir intermédiaire, qui est nommé **NGC1313X-1**, se situe dans la galaxie NGC 1313 et est classé parmi les sources X dites ultra-lumineuses (les ULX).

2015, L'année Trou Noir

Il s'agit de l'une des sources X les plus intenses de l'Univers proche. Comme ces sources X ultra-lumineuses sont encore aujourd'hui difficilement expliquées, certains astrophysiciens estiment qu'il pourrait tout simplement s'agir de ces fameux trous noirs intermédiaires en train d'avaloir de la matière environnante. La méthode que Pasham et ses collègues ont utilisée repose sur le fait que l'émission de rayons X en provenance de NGC1313X-1 montrent un signal d'oscillation, ce qu'on appelle des **oscillations quasi périodiques** (OQP).

Pour être tout à fait exact, **NGC1313 X-1** possède deux oscillations périodiques différentes, la première produit des flashes 27,6 fois par minute tandis que la seconde en produit 17,4 fois par minute. En comparant ces deux fréquences, les chercheurs se sont aperçus qu'on obtenait un ratio 3:2 presque parfait. Et chose étonnante, Pasham avait déjà trouvé le même phénomène avec le même ratio 3:2 avec le trou noir trouvé en 2014... Les astronomes ne savent pas encore très bien d'où proviennent ces oscillations quasi-périodiques de rayons X mais ce qui est sûr, c'est que le ratio 3:2 se retrouve également avec des trous noirs beaucoup plus petits, de masse stellaire. Ces flashes intenses de rayons X sont générés le plus probablement par une activité très proche de l'horizon du trou, là où la matière est emprisonnée avant de disparaître. Et la masse du trou noir peut être déduite de la fréquence des oscillations des flashes de rayons X qui forment le ratio 3:2 caractéristique observé. En recherchant un tel ratio dans les oscillations diverses observées, les chercheurs parviennent à isoler certaines fréquences, qui leur fournissent ensuite une estimation de la masse du trou noir : plus la fréquence d'oscillation est basse, plus la masse du trou noir est grande. La méthode développée par Pasham et ses collaborateurs est empirique et ne repose sur aucun modèle physique, ce qui la rend étonnamment puissante car elle fonctionne à la fois pour des petits trous noirs et des trous noirs de plusieurs milliers de masses solaires. Dheeraj Pasham a déjà identifié plusieurs sources X qui pourraient bien être de bons candidats pour être des trous noirs intermédiaires, il souhaite maintenant pouvoir les explorer pour conforter sa méthode, notamment avec NICER (*Neutron Star Interior Composition Explorer*), le futur télescope à rayons X que la NASA doit lancer l'année prochaine.

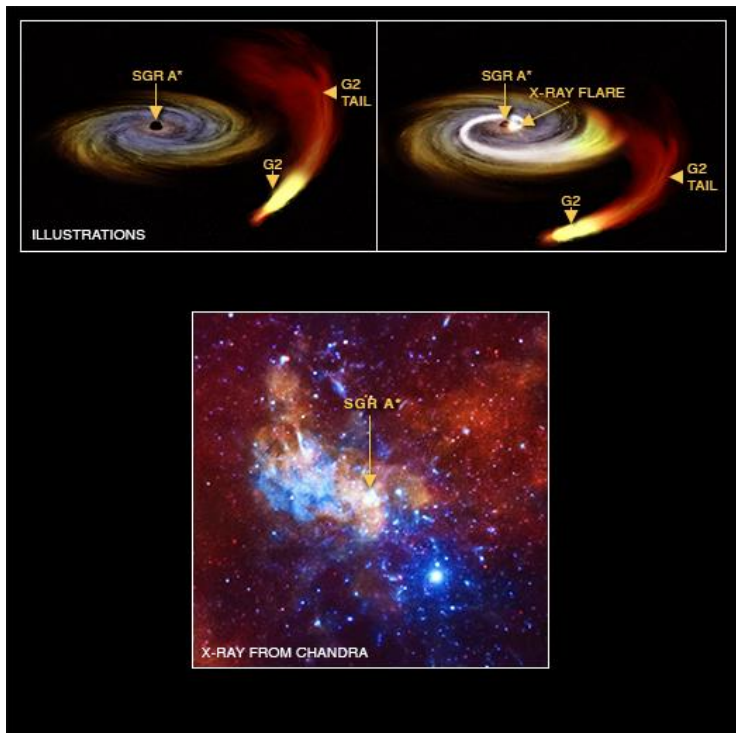
Source :

Evidence for High-Frequency QPOs with a 3:2 Frequency Ratio from a 5000 Solar Mass Black Hole
Dheeraj Pasham et al.
Astrophysical Journal Letters Volume 811, Number 1 (September 21, 2015)

Publié le mercredi 23 septembre 2015

Regain d'activité en rayons X pour Sgr A*

Il y a quelques semaines, je vous racontais ce qui semblait être la fin de l'histoire de G2, cet étrange objet mi-nuage de gaz et de poussières, mi-objet dense qui a fait le tour de Sgr A*, le trou noir supermassif de notre galaxie, sans produire ce que les astrophysiciens attendaient, une dislocation par le trou noir avec de fortes bouffées de rayons X. Et bien l'histoire n'est finalement pas finie car quelques mois après son passage au plus près de l'astre sombre géant, une activité accrue d'émission X a été observée en provenance de Sgr A*, et l'étrange objet G2 n'y serait peut-être pas pour rien...



L'équipe d'astronomes qui publie ces observations dans la revue britannique *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* a exploité pas moins de trois télescopes spatiaux pour arriver à ses fins : **Chandra X-Ray Observatory**, **XMM Newton** et **Swift**. Ils ont surveillé l'activité en rayons X de Sgr A* durant près de 15 ans d'affilée, en 150 campagnes d'observations entre septembre 1999 et novembre 2014.

Schéma de l'interaction possible de G2 avec Sgr A* (en haut), image en rayons X du centre galactique (en bas) (Chandra X-Ray Observatory)

Gabriele Ponti, du *Max Planck Institute for Extraterrestrial Physics*, et ses

collaborateurs, montrent que Sgr A* produit une forte bouffée de rayons X tous les quatre jours environ. Mais l'année dernière, à la fin de l'été 2014, quelques mois après le passage du nuage G2 au plus près de Sgr A*, **les bouffées de rayonnement ont augmenté considérablement par un facteur 10, avec environ 2,5 bouffées par jour**. Les chercheurs indiquent également avoir observé une augmentation de l'émission X moyenne d'un facteur 3,7 entre 2012 et 2014. On ne sait toujours pas avec certitude ce qu'est vraiment cette masse de matière appelée G2, nuage de gaz, poussières, système protoplanétaire avec ou sans étoile, mais le fait que Sgr A* se soit mis à être beaucoup plus actif peu de temps après son passage au plus près suggère que de la matière provenant de G2 aurait pu en

2015, L'année Trou Noir

être la cause en augmentant sensiblement le taux d'accrétion du trou noir supermassif.

Le délai observé entre le passage de G2 au plus près de Sgr A* et le sursaut d'émission X observé semble étonnant (un délai de six mois tout de même), or d'autres trous noirs montrent ce même type de comportement avec de brusques variations d'intensité de leur émission de rayons X, qui peuvent être par exemple attribuées à des changements dans la puissance des vents stellaires d'étoiles massives fournissant la matière nourrissant le trou noir. Le passage de G2 n'est peut-être qu'une coïncidence après tout. Ou pas.

Si l'explication de G2 s'avère la bonne, le regain d'activité de l'émission X de Sgr A* serait le premier signe d'apport de matière fraîche au trou noir par cet objet. Du gaz aurait été arraché du nuage, puis capturé par champ gravitationnel du trou noir avant d'interagir avec la matière en train de tomber vers l'horizon de Sgr A* tout en s'échauffant à des températures extrêmes en rayonnant des rayons X.

Pour confirmer ou infirmer cette hypothèse, la surveillance du centre galactique doit se poursuivre, et se poursuit. De nouvelles observations permettront, espèrent les astrophysiciens, de savoir si le regain d'activité de Sgr A* est un comportement normal ou exceptionnel.

Source :

Fifteen years of XMM-Newton and Chandra monitoring of Sgr A*: Evidence for a recent increase in the bright flaring rate

G. Ponti et al.

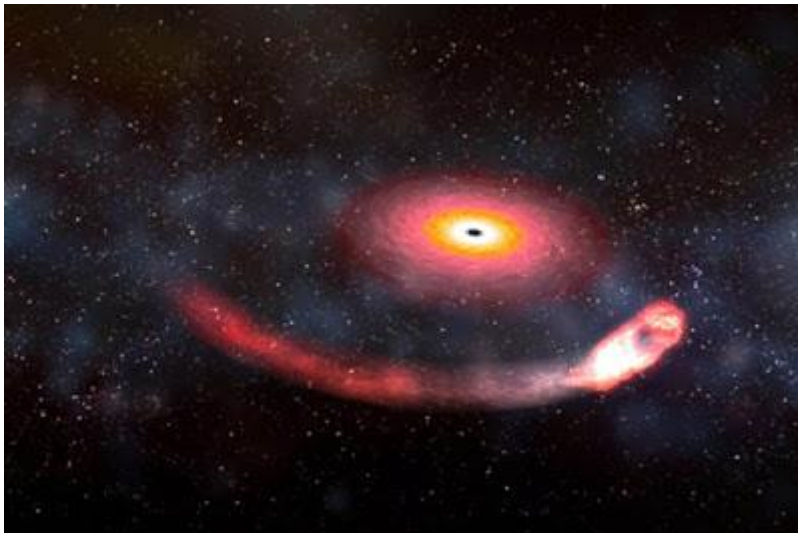
Accepté pour publication par Monthly Notices of the Royal Astronomical Society

Publié le jeudi 24 septembre 2015

Quand un trou noir dévore une étoile à neutrons

Que se passe-t-il quand une **étoile à neutrons** en orbite autour d'un **trou noir** s'en approche un peu trop près ? Contrairement au cas d'une étoile "normale" qui serait déchirée par les forces de marée produites par le trou noir, l'étoile à neutron, objet très compact de quelques kilomètres de diamètre, ne serait pas disloquée, mais absorbée entièrement et soudainement. Mais le phénomène pourrait bien être quand même détectable...

Une étoile à neutrons est un objet fortement magnétisé. Elle possède un puissant champ magnétique qui a pour effet de faire spiraler la moindre particule chargée parvenant dans son voisinage. Et quand une étoile à neutrons se trouve être dans un système binaire en compagnie d'un trou noir, couple de résidus d'étoiles mortes, elles ne peuvent que perdre leur énergie gravitationnelle et se rapprocher



Vue d'artiste d'un système binaire trou noir/étoile à neutrons (Dana Berry/NASA)

l'une de l'autre inéluctablement. Lorsque le trou noir passe dans le champ magnétique de l'étoile à neutrons, ce champ se retrouve fortement ébranlé et de cette variation spatio-temporelle du champ magnétique né un fort courant électrique, mettant en mouvement le plasma entourant les deux astres moribonds. Ce

phénomène a été appelé le *phénomène de batterie* d'un trou noir.

Le phénomène a lieu lorsque l'étoile à neutrons est toute proche du trou noir, juste avant qu'elle ne soit avalée complètement par le trou. Il dure donc un très court instant et les astrophysiciens ont montré qu'un tel processus pourrait être à l'origine d'un phénomène observé depuis quelques années et resté jusqu'à aujourd'hui bien mystérieux : les bouffées d'ondes radio rapides (**FRB**, *Fast Radio Bursts*).

Dans une étude parue dans *The Astrophysical Journal Letters*, Chiara Mingarelli du California Institute of Technology et ses collaborateurs montrent que la luminosité électromagnétique dans les longueurs d'ondes radio d'un phénomène de batterie de trou noir serait bien plus importante que ce qu'on imaginait auparavant. Les astronomes estimaient en effet que le phénomène d'absorption

2015, L'année Trou Noir

d'une étoile à neutrons par un trou noir était principalement accompagné d'une émission gamma ou de rayons X.

Les astrophysiciens proposent un scénario qui ne permet certes pas d'expliquer la totalité des FRB, mais tout de même une bonne sous-population. Car la coalescence de couples d'étoiles à neutrons/trous noirs produit une luminosité et une échelle temporelle un peu trop faibles pour pouvoir expliquer tous les types de bouffées d'ondes radio rapides.

Les chercheurs développent un scénario dans lequel l'absorption de l'étoile à neutrons induit l'existence d'un double pic d'émission intense d'ondes radio par le phénomène de batterie: le premier a lieu juste avant l'absorption et le second juste après, lorsque le champ magnétique de l'ex-étoile à neutrons est récupéré par le trou noir, créant alors une sorte d'onde de choc électromagnétique. Le plus intense des deux est le premier pic d'émission radio.

Non seulement l'équipe de Chiara Mingarelli offre grâce à ces résultats une solution partielle, mais très pertinente, au mystère des bouffées d'ondes radio rapides, mais ils donnent également un outil très intéressant à tous leurs collègues qui s'intéressent aux ondes gravitationnelles, dont les couples d'objets compacts comme les couples étoiles à neutron-trous noirs sont potentiellement les plus gros émetteurs, notamment au moment ultime de l'absorption/fusion.

En effet, si une contrepartie radio existe à une source d'ondes gravitationnelles de ce type, elle peut amener à affiner considérablement l'interprétation du signal obtenu à partir des ondes gravitationnelles seules et le rendre beaucoup plus robuste. La bouffée d'ondes radio fournit également une information très utile sur l'intensité du champ magnétique présent dans le couple d'objets compacts.

Chiara Mingarelli estime qu'il est probable que près de 5000 FRB pourraient être découverts dans les cinq prochaines années, avec parmi eux une bonne proportion issue du phénomène de batterie de trou noir, et autant de cibles pour les détecteurs d'ondes gravitationnelles VIRGO et LIGO.

Source :

Fast Radio Bursts and Radio Transients from Black hole Batteries

Chiara Mingarelli et al.

The Astrophysical Journal Letters, Volume 814, Number 2 (23 novembre 2015)

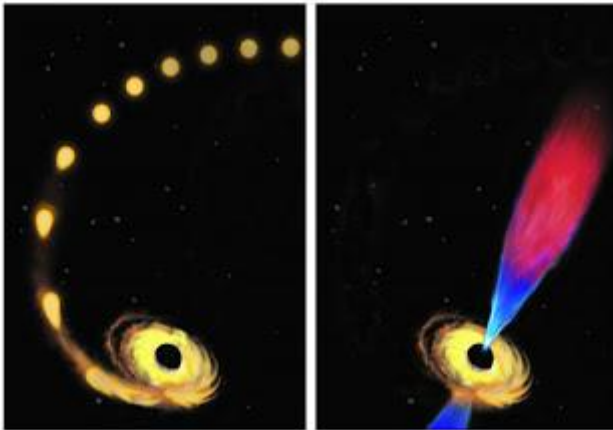
<http://dx.doi.org/10.1088/2041-8205/814/2/L20>

Publié le mercredi 25 novembre 2015

Destruction d'une étoile par un trou noir supermassif observée "en direct"

Le déchirement gravitationnel d'une étoile par les effets de marée d'un **trou noir supermassif** conduit généralement à une brève éruption dite "thermique", appelée TDF en anglais (*Tidal Disruption Flare*). Aujourd'hui, une équipe présente pour la première fois l'observation d'un phénomène d'émission radio suivant un tel **éclatement d'étoile** auprès d'un trou noir supermassif, qu'ils interprètent par

l'apparition d'un **jet de matière** au pôle du trou noir.



Vue d'artiste du phénomène de déchirement d'une étoile suivi par la production d'un jet de plasma (Johns Hopkins University)

Malgré d'intenses recherches, une émission d'ondes radio qui suivrait tout juste l'apparition d'une explosion de type TDF n'avait encore jamais pu être observée. Celle que Sjoert van Velzen, postdoc à l'Université Johns Hopkins et ses collaborateurs australiens, néerlandais, anglais et américains sont parvenus à mettre en évidence se trouve être variable et 10 fois moins intense que ce qu'étaient

capables de détecter les instruments antérieurs.

Ce type de jets de matière suivant la destruction d'une étoile par un trou noir supermassif pourrait ainsi être commun mais jusqu'ici passé inaperçu par manque de sensibilité.

C'est véritablement tout le processus de destruction d'une étoile par les forces de marées du trou noir que les chercheurs ont réussi à suivre, depuis l'apparition de l'éruption thermique signant l'écrasement de l'étoile jusqu'à son aplatissement dans le disque d'accrétion du trou noir et l'éjection consécutive de matière à une vitesse relativiste au niveau des pôles du trou noir, finissant par produire ces ondes radio caractéristiques. Sjoert van Velzen précise "Ces événements sont extrêmement rares. C'est la première fois que nous voyons tout ce qui se passe depuis la destruction d'une étoile jusqu'à la projection d'un jet de matière, le tout sur plusieurs mois d'affilée".

C'est en décembre 2014 qu'une équipe de l'université de l'Ohio a signalé la présence d'une étoile en train de se faire déchirer par un "petit" trou noir supermassif de 1 million de masses solaires. Très vite, Van Velzen a contacté ses collègues britanniques pour suivre l'événement avec des radiotélescopes, puis ils ont pu ajouter des données dans de nombreuses autres longueurs d'ondes, du

2015, L'année Trou Noir

visible aux rayons X. La galaxie où se déroule l'action scrutée de près se situe à seulement 300 millions d'années-lumière.

A partir de ces riches observations, les astrophysiciens tirent la conclusion que des flots de débris stellaires peuvent produire un jet très rapidement, ce qui va leur permettre d'affiner encore d'avantage la physique sous-jacente à ces événements violents.

Pour la petite histoire, Sjoert van Velzen, seulement quelques mois avant cette découverte impromptue, terminait la rédaction de sa thèse en écrivant dans sa conclusion qu'il espérait pouvoir découvrir un tel événement dans les 4 années suivantes... Le temps semble s'être fortement accéléré pour lui, et il se retrouve publié aujourd'hui dans la prestigieuse revue Science...

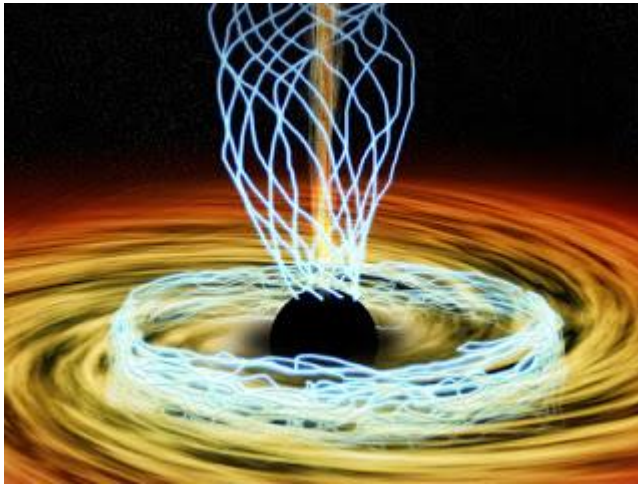
Source :

A radio jet from the optical and X-ray bright stellar tidal disruption flare ASASSN-14li
S. van Velzen et al.
Science online (26 November 2015)
<http://dx.doi.org/10.1126/science.aad1182>

Publié le lundi 30 novembre 2015

Observation inédite du magnétisme de Sgr A*, trou noir central de notre galaxie

A proximité d'un trou noir, la rotation d'un disque d'accrétion doit produire des champs magnétiques qui vont finalement être à l'origine de l'émission du disque et de l'apparition de jets de plasma le long de l'axe de rotation du trou noir. Une équipe internationale d'astrophysiciens vient pour la première fois d'observer en détails la structure de tels champs magnétiques au plus près de l'horizon du trou noir de notre galaxie : **Sgr A***.



Vue d'artiste des champs magnétiques produits par le trou noir supermassif et son jet (CFA/M. Weiss)

C'est grâce à des observations dans le domaine des ondes radio (longueur d'onde de 1,3 mm) en mode interférométrique que les chercheurs parviennent à atteindre une résolution angulaire record de quelques dizaines de microsecondes d'arc et arrivent ainsi à s'approcher à une distance de seulement 6 fois le rayon de l'horizon du trou noir. De telles observations ont été rendues possibles grâce à la mise en commun de données de multiples réseaux de radiotélescopes répartis sur de très longues distances

et qui forment ensemble ce qui est appelé le **Event Horizon Telescope (EHT)**.

L'équipe de Michael Johnson du *Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics* n'a pas seulement réussi à déterminer la structure spatiale des lignes de champs magnétiques à proximité immédiate du trou noir, mesure sans précédent, mais ils ont également suivi dans le temps comment elles évoluaient, et montrent l'existence d'une variabilité temporelle très rapide, visible à l'échelle d'un quart d'heure.

La méthode utilisée par les chercheurs est indirecte : elle est fondée sur l'observation de la polarisation des ondes radio détectées. Cette méthode est ainsi appelée interférométrie polarimétrique à très longue base. Les lignes de champ magnétique quand elles sont ordonnées, ont pour effet de polariser le rayonnement émis via leur effet sur le mouvement des électrons relativistes qui en sont à l'origine. Quand cette polarisation est linéaire, le vecteur de polarisation indique la direction du champ magnétique présent. En mesurant avec une très grande résolution spatiale comment est distribuée la polarisation des émissions radio, on peut ainsi déterminer comment est distribué le champ magnétique.

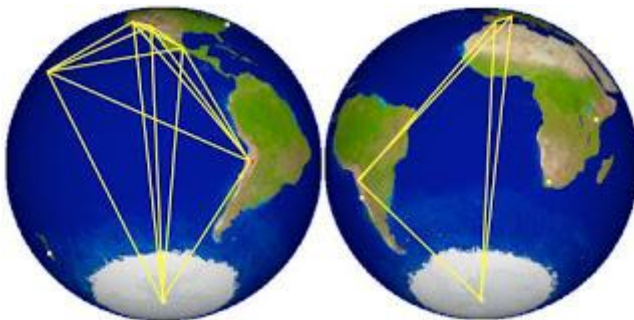
2015, L'année Trou Noir

Des études antérieures effectuées avec une configuration prototype de l'EHT étaient déjà parvenues à atteindre une résolution angulaire d'environ 40 microsecondes d'arc dans la région de Sgr A*, montrant toute la puissance du plus vaste réseau de radiotélescopes du monde. Il faut rappeler ici que la dimension du trou noir Sgr A* qui se trouve au centre de notre galaxie, avec sa masse de 4,3 millions de masses solaires, est de l'ordre de 13 millions de kilomètres de rayon (rayon de Schwarzschild, limite de son horizon). Sachant que Sgr A* se trouve à une distance de 8000 parsecs, sa dimension angulaire vue de la Terre est d'environ 10 microsecondes d'arc (équivalent à une balle de golf à la surface de la Lune). On notera au passage que ce trou noir supermassif tiendrait tout à fait à l'intérieur de l'orbite de Mercure...



Le réseau de radiotélescopes ALMA devant intégrer l'EHT.

L'EHT dans une version simplifiée parvient donc presque à « voir » directement l'horizon de Sgr A*. Les radiotélescopes formant le prototype d'EHT tel qu'il a



Différents sites pressentis pour participer à l'EHT
(Arizona University)

été utilisé au printemps 2013 pour donner ces résultats, toujours en version prototype, étaient situés en Californie, en Arizona et à Hawaï. A terme, l'EHT pourrait comporter des radiotélescopes beaucoup plus distants, répartis sur plusieurs continents, jusqu'à l'Antarctique, permettant une résolution toujours plus grande.

Dans cette observation rapportée cette semaine dans la revue Science, le réseau californien **CARMA** (*Combined Array for Research in Millimeter-wave Astronomy*) était la base de référence avec 8 antennes mises en commun. Du côté Arizona, c'est le *Submillimeter Telescope (SMT)* de 10 m qui a été inséré dans l'interféromètre, tandis que sur Hawaï, 7 antennes de 6 m du *Submillimeter Array (SMA)*, ainsi que le *James Clerk Maxwell Telescope (JCMT)* de 15 m ont été exploités ensemble également.

Tous ces grands instruments ont été focalisés sur la détection d'ondes radio dans deux bandes spectrales situées très exactement à 229,089 GHz et 229,601 GHz, soit 1,3 mm de longueur d'onde, une longueur d'onde qui peut traverser assez aisément les épais nuages de gaz et de poussière qui entourent le centre galactique.

2015, L'année Trou Noir

Ce que montrent Michael Johnson et ses collègues, c'est comment les lignes de champ magnétique peuvent passer d'un niveau ordonné à une phase désordonnée sur une distance aussi courte que 6 fois le rayon du trou noir. Les zones désordonnées pourraient indiquer l'existence de turbulences au sein du disque d'accrétion, tandis que les zones où le champ magnétique est ordonné pourraient montrer l'origine des jets de matière du trou noir. Cette superbe observation au plus près de l'horizon de Sgr A* apporte donc de nouveaux indices forts sur une origine magnétique des jets de matière des trous noirs.

L'Event Horizon Telescope n'en est qu'à ses balbutiements, l'avenir de cet instrument évolutif hors du commun nous réserve encore de jolies surprises en provenance du centre galactique.

Source :

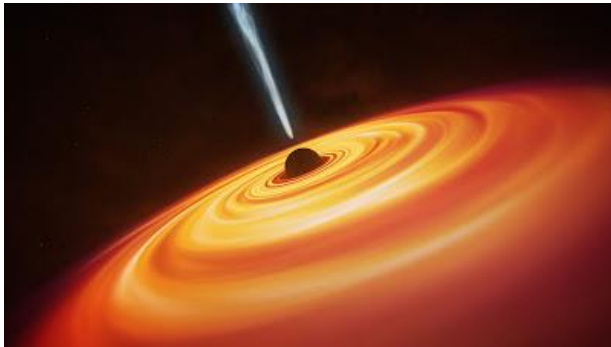
Resolved magnetic-field structure and variability near the event horizon of Sagittarius A*
M. Johnson et al.
Science Vol. 350 no. 6265 pp. 1242-1245 (4 December 2015)
<http://dx.doi.org/10.1126/science.aac7087>

Publié le vendredi 4 décembre 2015

Nouvelle explication pour les trous noirs supermassifs formés très tôt

Le 26 février dernier je vous relatais la découverte d'un énorme **trou noir supermassif** de 12 milliards de masses solaires situé dans l'Univers âgé de seulement 900 millions d'années, une véritable énigme pour les astrophysiciens qui comprennent mal comment un tel objet a pu grossir autant en si peu de temps. Aujourd'hui, un astrophysicien théoricien propose une solution qui sort des sentiers battus.

C'est à Lucio Mayer, de l'Université de Zürich, que l'on doit cette proposition, qui a été présentée le 15 décembre dernier au *Texas Symposium on Relativistic Astrophysics* et qui avait été publiée dans *The Astrophysical Journal* en septembre. L'idée repose sur le fait que ces premiers trous noirs supermassifs ne seraient pas nés par coalescence puis fusion successives de trous noirs plus petits,



Vue d'artiste d'un trou noir supermassif (Swinburne Astronomy Productions)

prenant pour origine des graines de trous noirs stellaires, mais **directement par l'effondrement de très gros nuages de gaz très denses dans le cœur des premières galaxies naissantes**. La proposition de Mayer devra certes être acceptée par les spécialistes, mais si elle se trouve correcte, elle permettrait d'expliquer ce

mystère des très gros trous noirs qui sont trouvés dans l'Univers jeune (moins d'un milliard d'années). Les toutes premières étoiles, certaines d'entre elles faisant facilement 100 masses solaires, sont apparues quelques centaines de millions d'années après le Big Bang, formant les toutes premières galaxies. Ces grosses étoiles ne vécurent pas très longtemps, quelques millions d'années, et laissèrent derrière elles des trous noirs de même masse environ (de l'ordre de 100 masses solaires). Mais c'est à peine quelques centaines de millions d'années après l'apparition de ces premiers trous noirs de 100 masses solaires que sont observés les trous noirs supermassifs les plus lointains, ayant une masse de l'ordre de 10 milliards de masses solaires. Comment expliquer un grossissement d'un facteur 100 millions en 500 millions d'années ? Des idées ont été proposées mais aucune ne permet d'expliquer facilement les observations sans avoir recours à des subterfuges difficilement acceptables.

Lucio Mayer a lui aussi essayé de donner une explication à ce mystère, et en a trouvé une qui semble tout à fait intéressante, pour ne pas dire élégante. La recette nécessite une très grosse quantité de matière, on s'en doute. Il faut que cette matière puisse se concentrer sur elle-même sous l'effet de sa propre gravité. Le

2015, L'année Trou Noir

gaz galactique apparaît être un très bon candidat, mais le problème est qu'il semble ne pas pouvoir atteindre l'état ultra-dense requis, car il a plutôt tendance à se refroidir et à s'arranger en petits globules qui finissent par former des étoiles.

Mais il existe un cas où ce pourrait ne pas être le cas et c'est ce qu'à trouvé Lucio Mayer : Lorsque deux galaxies primordiales se collisionnent - des galaxies pleines de gaz -, leur gaz pourrait ne pas former d'étoiles tout de suite. **La fusion des deux galaxies peut en effet produire des fortes instabilités qui ont pour effet de réchauffer le gaz et ainsi empêcher la condensation en étoiles.** Il en résulterait que le gaz des deux galaxies continuerait à se densifier très rapidement et fortement au centre de la galaxie résultante sans pouvoir se fragmenter. Un flot de gaz de 10 000 masses solaires par an convergerait vers le centre du disque galactique qui finirait par devenir si compact qu'il s'effondrerait sur lui-même, en formant directement un trou noir supermassif de 100 millions à un milliard de masses solaires. Tout se passerait en seulement 10 000 ans, sans passer par la case étoile, bien sûr.

Lucio Mayer a obtenu ce résultat grâce à des simulations numériques avancées. Comme l'effondrement du gaz ainsi obtenu a lieu sans aucune émission de rayonnement, Mayer l'appelle un *effondrement sombre* (*dark collapse*).

Mais certains astrophysiciens restent sceptiques face au processus proposé, arguant que si le gaz est si échauffé qu'il ne peut pas former d'étoiles, il ne devrait pas pouvoir atteindre la masse critique non plus. Pour le moment, les astrophysiciens ne peuvent se fier qu'à des simulations numériques de plus en plus raffinées, car l'observation directe de la naissance des trous noirs supermassifs est encore hors de notre portée. Lucio Mayer annonce qu'il va effectuer de nouvelles simulations encore plus réalistes prenant en compte des effets relativistes.

Mais il annonce tout de même que le processus d'effondrement sombre pourrait être détectable via les ondes gravitationnelles qu'il devrait générer en grandes quantités. Les ondes gravitationnelles de naissance des trous noirs supermassifs par ce processus seraient par exemple détectables avec le futur détecteur spatial eLisa.

Sources :

Direct formation of supermassive black holes; from mergers of protogalaxies to global relativistic collapse

L. Mayer, D. Fiacconi and P. Montero

28th Texas Symposium on Relativistic Astrophysics, Geneva, December 15, 2015.

Direct formation of supermassive black holes in metal-enriched gas at the heart of high-redshift galaxy mergers.

L. Mayer et al.

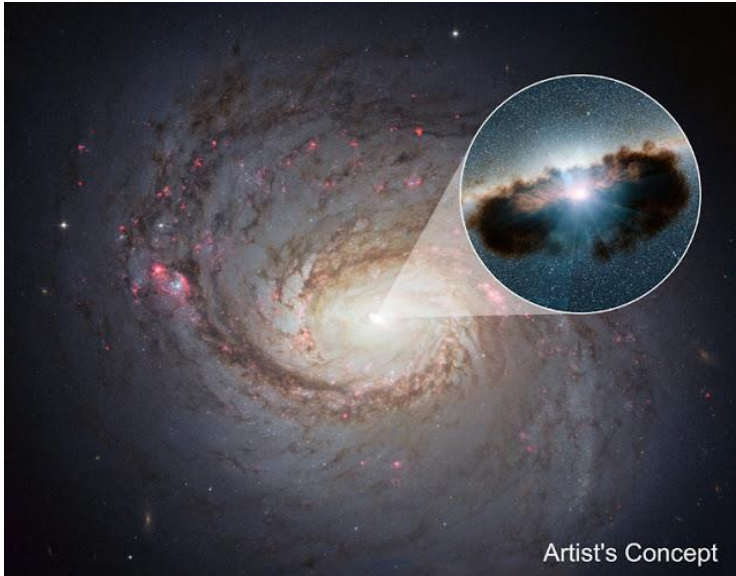
Astrophysical Journal. Vol. 810, September 1, 2015, p. 51.

<http://dx.doi.org/10.1088/0004-637X/810/1/51>

Publié le samedi 26 décembre 2015

Observation d'un disque de matière désordonné autour d'un trou noir supermassif

Le télescope spatial NuSTAR vient de permettre de visualiser pour la première fois la structure du disque de matière entourant un trou noir supermassif, et contrairement à l'image ordonnée et lisse que se faisaient les astrophysiciens jusqu'alors, ce disque apparaît très désordonné...



NGC 1068 (par Hubble) et une vue d'artiste du phénomène observé autour du trou noir supermassif central (NASA JPL/Caltech)

Andrea Marinucci, de l'Université de Rome, et ses collaborateurs ne se sont pas contenté des seules données du télescope américain NuSTAR (*Nuclear Spectroscopic Telescope Array*) mais ont également utilisé le télescope européen XMM-Newton, spécialisé lui aussi dans les rayons X, pour étudier de près la matière entourant le trou noir supermassif de la galaxie NGC 1068. Cette

galaxie est une galaxie relativement proche, située à 47 millions d'années-lumière. La spécificité de ce trou noir supermassif est qu'il est masqué par une très épaisse couche de gaz.

Les chercheurs publient leurs observations dans les *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. Ils y montrent à quel point la matière en rotation autour du trou noir n'a pas une belle forme lisse en forme de tore (ou de doughnut si l'on préfère).

Ce type de disque de gaz et de poussière a été proposé au milieu des années 1980 pour expliquer pourquoi certains trous noirs apparaissent masqués et d'autres non. Tout dépendrait de l'orientation sous laquelle on peut voir l'objet depuis la Terre. Si le tore de matière est vu par la tranche, le trou noir apparaît masqué derrière une grosse quantité de gaz, et s'il est vu par "le dessus" ou par "le dessous", non loin de son axe de rotation, alors nous avons plus facilement accès au rayonnement le plus intense avec une probabilité de se trouver, en plus, exactement dans l'axe de rotation, dans la direction du jet de matière et de rayonnement associé aux trous noirs actifs.

En août 2014, NuSTAR observa une soudaine bouffée de rayons X en provenance du centre de NGC 1068, des rayons X de plus haute énergie que ceux détectables

2015, L'année Trou Noir

par XMM-Newton. Les chercheurs ont fini par attribuer cette variation de luminosité X à un amincissement local de l'épais nuage de matière entourant le trou noir supermassif.

Les observations de Marinucci et ses collègues sont les premières du genre sur un tore de matière ultra-dense entourant un tel trou noir supermassif, et ils indiquent que le phénomène vu pourrait être en fait très commun. Poshak Gandhi, de l'Université de Southampton et co-auteur de l'étude précise : "*Nous ne comprenons pas encore complètement pourquoi certains trous noirs supermassifs sont si fortement obscurcis ou pourquoi la matière les entourant est déstructurée. Cela reste un sujet d'étude brûlant.*" Ces connaissances sont importantes pour comprendre au mieux la croissance et l'évolution des trous noirs supermassifs au sein de leur galaxie hôte.

La cause de la variabilité dans la structure du disque de matière peut être multiple selon les chercheurs, le trou noir lui-même pourrait produire des turbulences lorsqu'il absorbe de la matière, ou bien ces turbulences pourraient être induites par des étoiles jeunes situées à proximité, à l'extérieur du disque. Une troisième hypothèse proposée repose sur l'existence de flots de matière provenant de l'extérieur du disque et tombant dessus dans leur migration dans le champ gravitationnel du trou noir. La détermination de la cause du phénomène est la prochaine tâche que ce sont fixée les astrophysiciens, la plus importante question étant de savoir si ces instabilités sont générées par l'extérieur ou par l'intérieur du disque.

L'utilisation conjointe de plusieurs télescopes spatiaux simultanément se révèle dans tous les cas très fructueuse.

Source :

NuSTAR catches the unveiling nucleus of NGC 1068

A. Marinucci et al.

Monthly Notices Letters of the Royal Astronomical Society (11 February 2016) 456 (1): L94-L98.

<http://dx.doi.org/10.1093/mnrasl/slv178>

Publié le mardi 29 décembre 2015

