

Une galaxie active, NGC 1068, livre peut-être enfin son secret

Nous savons que le cœur de la plupart des galaxies contient un trou noir supermassif de quelques millions à quelques milliards de masses solaires. Lorsque le trou noir absorbe le gaz situé dans son environnement, celui-ci devient très lumineux, voire plus lumineux que la galaxie toute entière. On appelle ces galaxies « actives », et dans les cas les plus extrêmes, « quasars ». Les quasars, ainsi que les « noyaux » de certaines de ces galaxies (appelées « Galaxies de Seyfert », du nom de leur découvreur en 1943) sont caractérisés entre autres par un rayonnement ultraviolet intense et variable et par des raies spectrales très larges, également variables. Leur grande largeur est due aux mouvements violents qui agitent le gaz (effet Doppler), mouvements que l'on attribue à la présence du trou noir massif. Cependant d'autres galaxies de Seyfert, ayant des propriétés semblables par ailleurs (noyau brillant, rayonnement X de haute énergie, raies spectrales d'éléments très ionisés...) n'ont pas de raies spectrales très larges ni de rayonnement ultraviolet. On a donc divisé les galaxies de Seyfert en deux classes : les Seyfert 1, avec des raies larges et du rayonnement ultraviolet, et les Seyfert 2, sans raies larges ni rayonnement ultraviolet. Pourquoi ces particularités sont-elles présentes dans certains objets et pas dans d'autres ?

Le prototype des Seyfert 2 est NGC 1068, dont l'étude polarimétrique a montré il y a trente ans qu'elle possédait également deux régions, l'une émettant les raies spectrales larges l'autre le continu ultraviolet, mais que celles-ci sont cachées par une région de gaz et de poussières. L'idée s'est alors imposée que les Seyfert 1 et les Seyfert 2 représentaient une seule et même classe, contenant toutes en leur centre un trou noir supermassif entouré d'un disque d'accrétion émettant le continu ultraviolet et d'une région émettant les raies larges, mais que tout ceci est ceinturé par un tore de gaz et de poussières de quelques dizaines d'années-lumière de rayon. Les Seyfert 1 (et les quasars) seraient vus « de face », et les Seyfert 2 « par la tranche » de ce tore. Ce « modèle unifié » des noyaux de galaxies a été par la suite étendu à l'ensemble des galaxies actives et des quasars et permet d'expliquer la variété des aspects observés (voir Fig.1).

Des multitudes d'observations de NGC 1068 ont été effectuées et depuis longtemps on avait détecté deux cônes brillants symétriques dans le noyau de NGC 1068. On pensait qu'ils correspondaient à un vent dirigé dans l'axe du tore. Mais aucune observation directe du tore n'avait encore été réalisée.

Grâce aux capacités de l'instrument SPHERE dont nous avons déjà parlé récemment installé sur l'un des télescopes VLT de l'observatoire européen au Chili, une équipe de l'Observatoire de Paris a pour la première fois observé « directement » la signature d'un tore de poussières au cœur de NGC 1068 (Damien Gratadour et al., 2015, *Astronomy and Astrophysics*, 581, L8). Utilisant surtout le mode polarimétrique, l'équipe a obtenu une image du noyau de NGC 1068 d'une qualité inégalée. La résolution spatiale de 7,5 années-lumière est près de 20 fois meilleure que celle offerte sans système correcteur. Elle a permis de mettre en évidence deux structures particulières au cœur du noyau actif : 1.

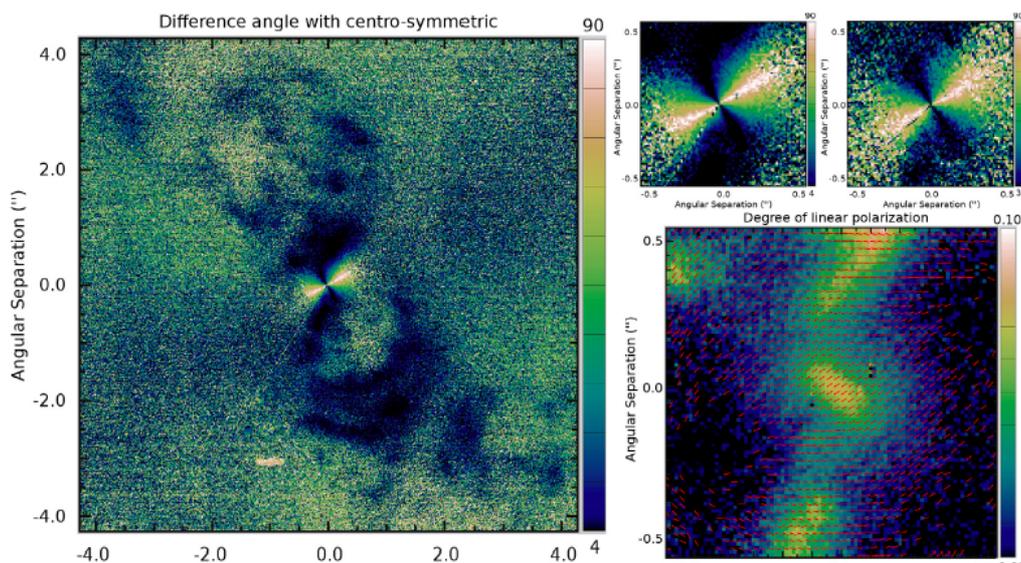
un double cône en forme de sablier correspondant à une région peu dense au sein de laquelle des nuages de gaz sont ionisés par le rayonnement intense produit au voisinage du trou noir central ; 2. une structure centrale allongée sur environ 150 années-lumière et d'une épaisseur d'environ 60 années-lumière, perpendiculaire à l'axe du double cône, qui serait donc le fameux tore recherché depuis trente ans (voir Fig. 2).

L'observation de la structure allongée n'est pas réellement « directe » car elle fait intervenir une série d'étapes assez compliquées. Elle est en fait révélée par la diffusion de la lumière provenant de la source centrale sur la poussière du tore. En effet, l'équipe trouve que l'intensité de la polarisation dans le bi-cône est dominée par la lumière diffusée provenant de la source centrale. Et c'est en soustrayant une composante symétrique centrée sur le pic de brillance infrarouge de la carte donnant l'angle de polarisation et de celle donnant l'intensité, que l'on obtient la direction de la région allongée perpendiculaire au bi-cône. Ce résultat est consistant avec l'alignement d'une structure étendue observée dans le domaine radio, ainsi qu'avec celle d'un nuage moléculaire. Mais il est nécessaire de continuer l'analyse des résultats et leur modélisation pour confirmer cette conclusion et pouvoir affirmer que c'est bien le tore de poussières postulé par le modèle unifié des noyaux actifs de galaxies qui vient d'être observé.



Figure 1: Vue d'artiste du cœur d'un noyau actif de galaxie. ESA/NASA, the AVO project and Paolo Padovani.

Figure 2 : Diverses étapes du processus réalisé sur les données. Gratadour et al. 2015.



EVIDENCES POUR DEUX TROUS NOIRS SUPERMASSIFS EN TRAIN DE FUSIONNER

Comme nous l'avons souvent rappelé, le coeur de la plupart des grandes galaxies contient un trou noir supermassif de un million à plusieurs milliards de fois la masse du Soleil, et lorsque ce trou noir accrète du gaz à un taux important, le gaz devient très lumineux avant de s'engouffrer à l'intérieur (voir l'actualité sur la galaxie NGC 1068). On a alors affaire à un « noyau actif de galaxie » ou à un quasar. Mais nous savons aussi que les galaxies, étant des objets très étendus, interagissent souvent entre elles, et il leur arrive même de fusionner.

Que deviennent alors leurs trous noirs supermassifs ? On présume que parfois (souvent ?) ils finissent également par fusionner après avoir orbité pendant un certain temps l'un autour de l'autre comme le font les étoiles (voir Fig. 1). Naturellement ces « trous noirs binaires » ne peuvent être observés directement, mais on s'attend à détecter une périodicité dans leur rayonnement.

On a jusqu'à maintenant observé seulement une poignée de quasars « quasi-périodiques », dont un ou deux semblent complètement périodiques. Récemment, des chercheurs analysant les résultats de la mission spatiale GALEX (Galaxy Evolution Explorer) de la NASA et du télescope spatial Hubble, viennent de découvrir deux trous noirs supermassifs en train de fusionner dans un quasar. Il s'agit de PG 1302-102, identifié précédemment avec des télescopes au sol, et situé dans la constellation de la Vierge à 3,3 milliards d'années-lumière. Sa période est de 4 années (Daniel J. D'Orazio, Zolt'an Haiman & David Schiminovich, *Nature*, 17 septembre 2015, voir Figs. 2, 3, et 4).

Si la périodicité est effectivement celle de deux trous noirs en rotation l'un autour de l'autre, et que l'on applique les lois de Kepler en supposant que leur masse totale est de 300 millions de masses solaires – typique pour ce type d'objet - on trouve que les deux composantes sont séparées d'environ 0,03 année-lumière (soit la taille du système solaire !) et que la plus petite des deux composantes orbite autour de l'autre avec une vitesse d'environ 8000 km/s. On peut aussi déduire, en tenant compte de l'émission d'ondes gravitationnelles et de l'accrétion de gaz qu'ils reçoivent, que les deux trous noirs devraient fusionner dans moins d'un million d'années (en fait, l'événement a dû avoir lieu il y a 3,3 milliards d'années, mais sa lumière ne nous en est pas encore parvenue), en déclenchant une gigantesque explosion 100 millions de fois plus énergétique qu'une supernova. Incidemment, elle créera des ondes gravitationnelles intenses qui seront détectées... s'il existe encore des êtres humains à ce moment !

La courbe de lumière de PG 1302-102 est bien mesurée pendant deux périodes, avec une amplitude de 0,14 magnitudes dans la bande optique, et les auteurs concluent que 14% de la variabilité est dû à l'effet de l'amplification relativiste (qui sera expliquée dans le prochain numéro de l'Astronomie, voir l'article de Denis Priou à venir). Ils en déduisent que les variations de brillance dans l'ultraviolet doivent suivre celles de l'optique avec une amplitude deux à trois fois plus grande, ce qui est consistant avec les données UV archivées de GALEX, et qui pourra être vérifié plus en détail avec des observations UV et optiques dans les années à venir.

Il s'agit d'une découverte très importante pour l'astrophysique des hautes énergies et pour la cosmologie, car le phénomène de fusion des trous noirs supermassifs est encore loin d'être compris, alors qu'il doit se produire très fréquemment dans l'univers jeune. Il est donc probable que cet objet apportera des lumières nouvelles sur ce phénomène, et que l'on découvrira dans les années à venir d'autres objets semblables grâce aux grands relevés en cours et à l'analyse des données d'archive.

Figure 1 : Simulation numérique de 2 trous noirs en train de fusionner.

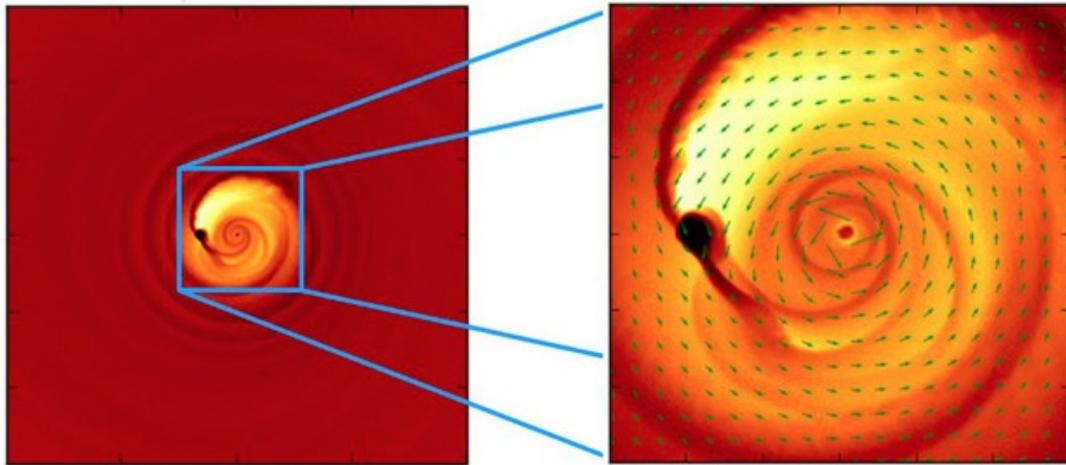


Figure 2 : Courbe de lumière optique et UV de PG 1302-102. Les points noirs sont les données optiques, sur lesquelles on a superposé la meilleure sinusoïde (courbe rouge en tirets). La courbe noire solide montre le meilleur ajustement tenant compte de l'amplification relativiste. La courbe bleue en tirets est obtenue en utilisant le taux d'accrétion correspondant à une simulation où les deux trous noirs sont de masses inégales. Les cercles et les triangles rouges et bleus correspondent à des données archivées dans l'optique et l'ultraviolet. Les courbes en pointillés bleue et rouge montrent des optimisations de la courbe de lumière tenant compte des effets relativistes. Crédit Daniel J. D'Orazio et al. (2015).

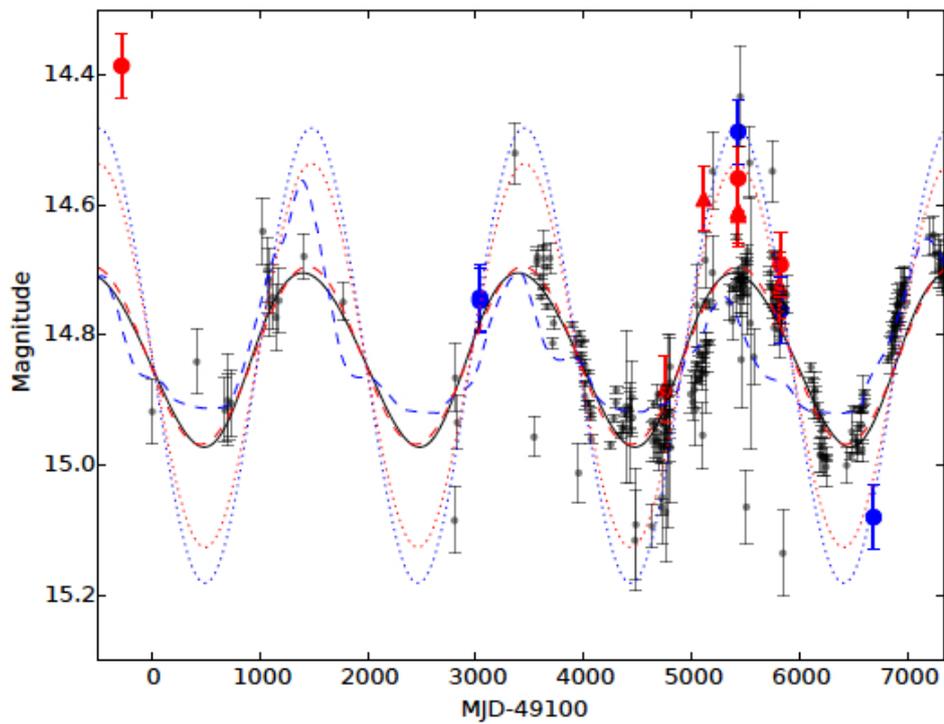


Figure 3 : Spectre ultraviolet de PG 1302-102 de 1992 à 2011. Les dates sont en MJD (modified Julian day)-49100. Les bande jaunes verticales indiquent les régions qui ne sont observées ni par GALEX ni par Hubble. La forme des bandes photométriques FUV et NUV de GALEX sont montrées respectivement par les courbes bleue et rouge.

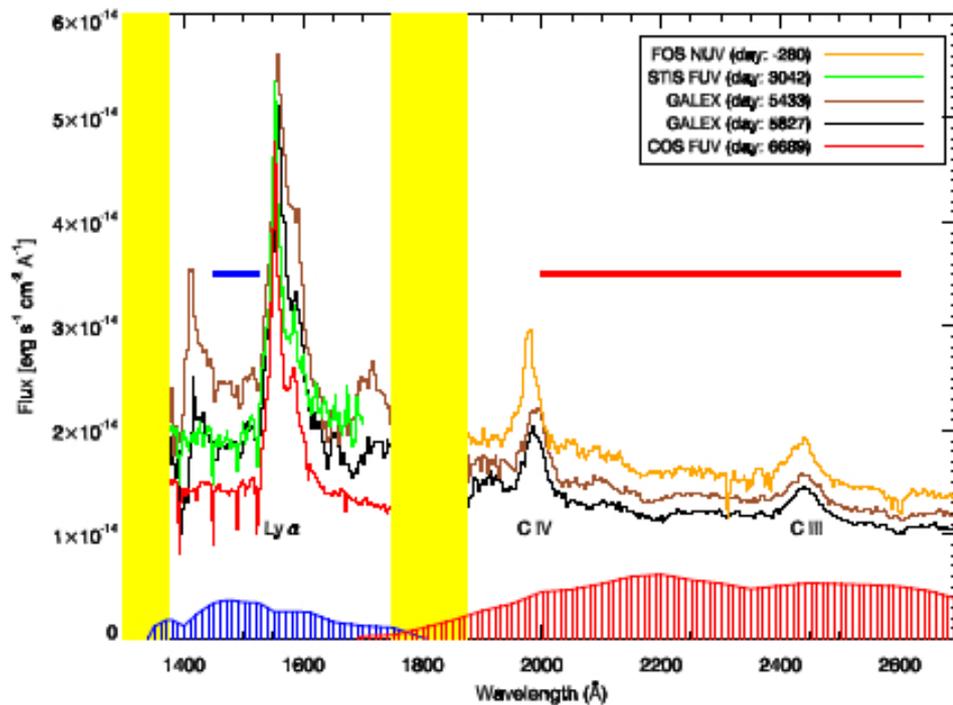


Figure 4 : Ajustement de différents modèles pour la courbe de lumière optique de PG 1302-102. Les courbes en pointillés rouges sont des sinusoïdes.

