

## Les trous noirs supermassifs peuvent-ils grossir infiniment ?

Nous avons souvent évoqué dans ces colonnes l'existence des trous noirs supermassifs situés dans les cœurs de la plupart des galaxies. Ces trous noirs ont des masses comprises entre cent mille masses solaires pour ceux qui sont dans les plus petites galaxies et dix milliards pour les plus grosses. Leurs masses sont fortement corrélées avec celles des bulbes des galaxies. On pense que c'est parce que l'énorme énergie libérée sous forme mécanique ou lumineuse près du trou noir provoque un effet de rétroaction sur son environnement et stoppe la croissance de la galaxie (voir par exemple l'actualité de janvier: "Une preuve que les jets des trous noirs supermassifs influencent fortement les galaxies qui les contiennent»). On se pose donc la question de savoir si les trous noirs supermassifs peuvent grandir indéfiniment, à condition qu'on leur laisse suffisamment de temps.

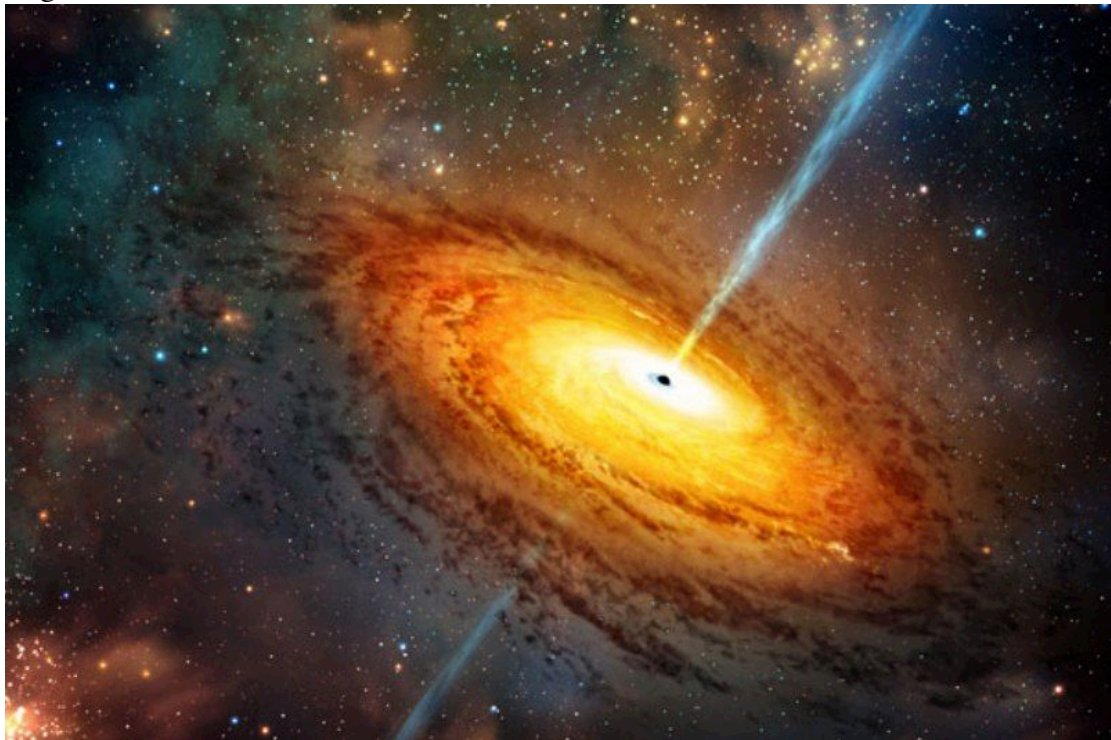
Un chercheur de l'Université de Leicester, Andrew King, vient de publier un article répondant à cette question (arXiv:1511.08502, à paraître dans les Monthly Notices of the Royal Astronomical Society). Il faut se rappeler que les trous noirs supermassifs peuvent devenir très lumineux et sont appelés alors "quasars" ou "noyaux actifs de galaxies". Mais ceci se produit seulement lorsqu'ils disposent de gaz dans leur environnement proche, là où leur gravité domine. Comme ce gaz ne se déplace jamais dans la direction exacte du trou noir, il s'en rapproche en spiralant à cause de la friction qu'il subit, créant un "disque d'accrétion" mince (c'est à dire dont l'épaisseur est égale à environ le centième du rayon). Plus probablement il se crée des séries successives de disques d'inclinaisons différentes chaque fois qu'un nuage de gaz s'approche du trou noir. Ce sont ces disques qui rayonnent intensément et provoquent les apparitions du quasar. Mais les calculs montrent que, *quelle que soit la masse du trou noir*, ce disque est instable gravitationnellement vers l'extérieur au delà d'un rayon de quelques centièmes à quelques dizaines d'années-lumière, et qu'il va s'effondrer sous l'effet de sa propre gravité. Il se désagrège alors et forme des étoiles. Donc le disque d'accrétion ne peut dépasser un rayon externe limite.

Mais le disque n'a pas seulement un rayon externe limite, il a aussi un rayon interne limite, qui est celui où la matière commence à tomber directement dans le trou noir sans rayonner. Ce rayon dépend légèrement de la rotation du trou noir (elle peut être importante ou faible, et prograde ou rétrograde par rapport à celle du disque). Ce qui est important, c'est que ce rayon *est cette fois proportionnel à la masse du trou noir*. Donc, il y aura une limite à l'existence d'un disque d'accrétion lorsque le rayon externe et le rayon interne seront égaux, ce qui se produit à peu près pour une masse de 50 milliards de masses solaires.

Tout ceci implique que s'il existe des trous noirs de masse supérieure à cette valeur, il ne peuvent pas rayonner, et donc apparaître comme des quasars. Or on peut calculer la luminosité maximum d'un trou noir de masse donnée (modulo naturellement l'incertitude due à la rotation du trou noir qu'on ne connaît pas avec précision). Elle est également proportionnelle à la masse du trou noir. C'est ce que l'on nomme la "luminosité d'Eddington", atteinte lorsque la pression du rayonnement émis égale la force gravitationnelle. On trouve que pour un trou noir de 50 milliards de masses solaires, elle est égale à  $6-7 \cdot 10^{48}$  ergs/sec, qui est justement la luminosité des quasars les plus lumineux observés jusqu'à maintenant.

Cela signifie-t-il qu'on ne pourra jamais observer des luminosités et des masses plus grandes que ces limites? Incontestablement, en ce qui concerne la luminosité. Et si l'on en découvre de plus grandes, cela signifiera qu'il faudra remettre en cause les modèles des disques d'accrétion, et même peut-être les théories sur lesquelles elles sont fondées. Quant aux masses des trous noirs, elles peuvent grossir par des moyens "non lumineux", par exemple lorsque deux trous noirs supermassifs fusionnent. On ne les verra pas directement, mais il sera toujours possible de les détecter par divers moyens, par exemple s'ils courbent la lumière passant dans leur voisinage (c'est l'effet de "lentille gravitationnelle" dont nous avons souvent parlé). En tout état de cause, on doit s'attendre à ne pas trouver de masses bien plus élevées que celles qui ont été déjà découvertes.

Figure 1 : Image d'artiste montrant le disque d'accrétion avec sa région extérieure fragmentée.



## **Encore des avancées sur le trou noir supermassif de la Voie Lactée**

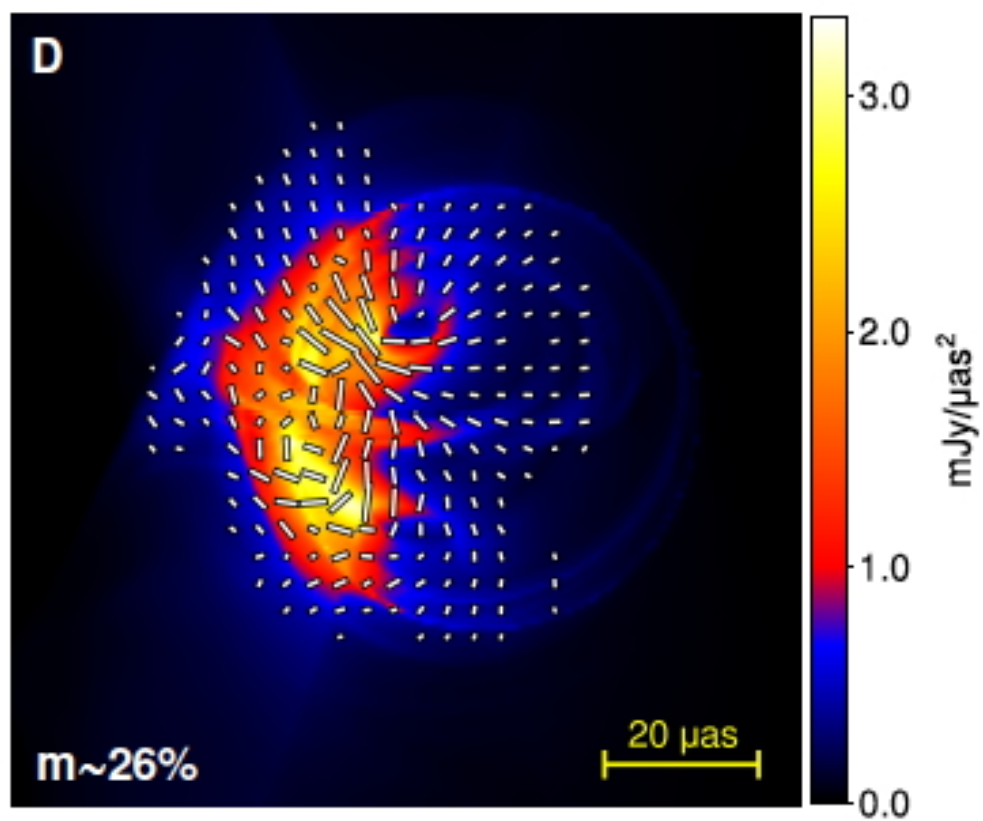
Le trou noir supermassif (4 millions de masses solaires) au centre de notre Galaxie est pour le moment le seul trou noir dont on peut espérer voir l'horizon dans un avenir proche. En effet, deux collaborations internationales se sont mises en place depuis plusieurs années pour y parvenir. L'une, dont il sera question dans un numéro ultérieur, est en train de devenir opérationnelle avec les quatre grands télescopes VLT de l'ESO au Chili, utilisés dans le mode interférométrique. C'est l'opération "GRAVITY" (General Relativity Analysis via Vlt InTerferometrY), qui fonctionnera dans l'infrarouge, et dans laquelle la France est très impliquée.

Les radioastronomes ont mis au point une autre grande opération, appelée EHT (Event Horizon Telescope), constituée d'un ensemble de radiotélescopes dispersés sur toute la Terre. L'EHT fonctionne par interférométrie à courtes longueurs d'onde radio (1,3 millimètres), ce qui le rend incroyablement efficace du point de vue de la résolution spatiale (rappelons en effet que la résolution spatiale angulaire est égale à la longueur d'onde  $\lambda$  divisée par la distance). En outre, il mesure la polarisation du rayonnement.

Le consortium autour de l'EHT vient d'annoncer une première découverte. Grâce à la polarimétrie, ils ont résolu la structure magnétique et la variabilité près de l'horizon du trou noir supermassif de la Voie Lactée, Sgr A\* (arXiv:1512.01220v1, Michael D. Johnson et al.). Ils ont trouvé que le champ magnétique est ordonné et variable. Ce champ magnétique explique l'existence du rayonnement radio de Sgr A\*, attribuée au rayonnement synchrotron dû à des électrons relativistes se déplaçant dans le champ magnétique. En effet, un champ magnétique se produit normalement à partir de la rotation différentielle du disque d'accrétion (voir l'autre actualité sur les trous noirs). C'est lui qui donne naissance aux jets caractéristiques bien connus des trous noirs.

On voit donc que l'arrivée de la polarimétrie en interférométrie à très longue base permet de résoudre maintenant l'environnement immédiat du trou noir de la Voie Lactée, malgré son extrême compacité. Dans l'avenir, l'extension de l'EHT va permettre de localiser les structures magnétiques et leur variabilité sur une échelle comparable avec la taille de l'horizon de Sgr\* A.

Figure 1 : Cette figure montre une image du champ magnétique de Sgr A\* reconstituée à partir de la simulation numérique de la polarimétrie observée par l'EHT. Consortium EHT.



## Un objet exceptionnel parmi les émetteurs gammas

Le ciel extragalactique observé dans le domaine des rayons gamma est dominé par les “blazars”, noyaux actifs de galaxies ou quasars dont les jets pointent presque dans notre direction. L’intensité de leur rayonnement est alors amplifiée par un effet de relativité restreinte. On connaît environ soixante blazars émettant à des énergies très élevées, de l’ordre du TeV (1000 milliards d’électrons-volt). On les appelle des gammas VHE (Very High Energy). Plusieurs de ces sources émettent également des photons radio en grande quantité.

Lorsque ces gammas rencontrent des photons moins énergétiques, visibles, infrarouges ou même radio, ils produisent des paires électrons-positrons (rappelons que les positrons sont les “antiparticules” des électrons, c’est à dire qu’ils ont la même masse mais une charge positive). Il faut pour cela que la somme des énergies des photons qui interagissent soit supérieure à deux fois l’énergie de masse d’un électron, 511 KeV, soit à 1,022 millions d’électrons-volt.

L’origine des ces gammas VHE n’est pas encore claire. Ils proviennent certes des blazars, mais est-ce tout près du trou noir, au pied du jet? A la surface du “tore” émettant l’infrarouge? Tout ce que l’on sait est qu’ils doivent être produits à une distance suffisamment grande du trou noir central pour ne pas être détruits lors de leur interaction avec les photons radios, infrarouges, visibles ou ultraviolets, très nombreux dans cet environnement.

Mais ce n’est pas tout. Car les gammas VHE qui réussissent à s’échapper du blazar ont à faire face aux photons ultraviolets du milieu intergalactique, émis par les galaxies et les étoiles dans le visible et l’ultraviolet, ainsi qu’aux photons du fond cosmologique, produits 380 mille ans après le Big Bang, au moment où les protons et les électrons se sont recombines en atomes d’hydrogène et où l’Univers est devenu transparent pour eux. La somme de ces rayonnements forme ce que l’on nomme l’ELB, ou “Extragalactic Background Light”. Celui qui est dû aux photons cosmologiques est bien connu en fonction de la distance, contrairement à celui qui est dû aux galaxies et aux étoiles.

Un blazar particulièrement intéressant vient d’être observé par le satellite gamma Fermi et par le consortium VERITAS (A. U. Abeysekara et al., arXiv:1512.04434v1). VERITAS est un ensemble de télescopes observant en rayons gamma situé en Arizona. C’est l’équivalent pour l’hémisphère Nord de l’ensemble de télescopes HESS dont nous avons parlé à plusieurs reprises, qui est situé en Namibie et construit par la France et l’Allemagne. FSRQ PKS 1441+25 se trouve dans la constellation du Bouvier à 7,6 milliards d’années-lumière, et la masse de son trou noir central est estimée à 70 millions de masses solaires. L’abréviation FSRQ (Flat Spectrum Radio Quasar) signifie que c’est un objet intense en radio, et qu’il s’agit de rayonnement synchrotron (donc émis par des électrons de très grande énergie dans un champ magnétique). Or si la puissance radio est comparable à celle émise dans le domaine gamma, c’est que le nombre de photons radio est beaucoup plus grand, puisque l’énergie de chacun des ces photons est des milliards de fois plus petite que celle d’un photon gamma (voir Fig. 1). Il est donc possible de calculer la distance minimum du trou noir à laquelle ces photons doivent être émis et pouvoir s’échapper du blazar: l’équipe trouve qu’elle est supérieure à mille fois le rayon de l’horizon du trou noir.

Ce qui suggèrerait que ces photons sont émis par le jet du blazar.

Un autre résultat concernant cette fois le trajet des photons gamma dans le milieu intergalactique montre que le rayonnement visible et ultraviolet dû aux galaxies est bien estimé à l'heure actuelle, et donc que les grands relevés de galaxies ont probablement déjà résolu toutes les sources contribuant à la lumière extragalactique (voir Fig.2).

Figure 1 : Emission de PKS 1441+25 à toutes les longueurs d'onde, montrant la grande variabilité de cet objet. Les figures de droite donnent le rayonnement X en haut, et le rayonnement gamma en bas, tous deux observés en Avril 2015. Crédit A. U. Abeysekera et al., arXiv:1512.04434v1.

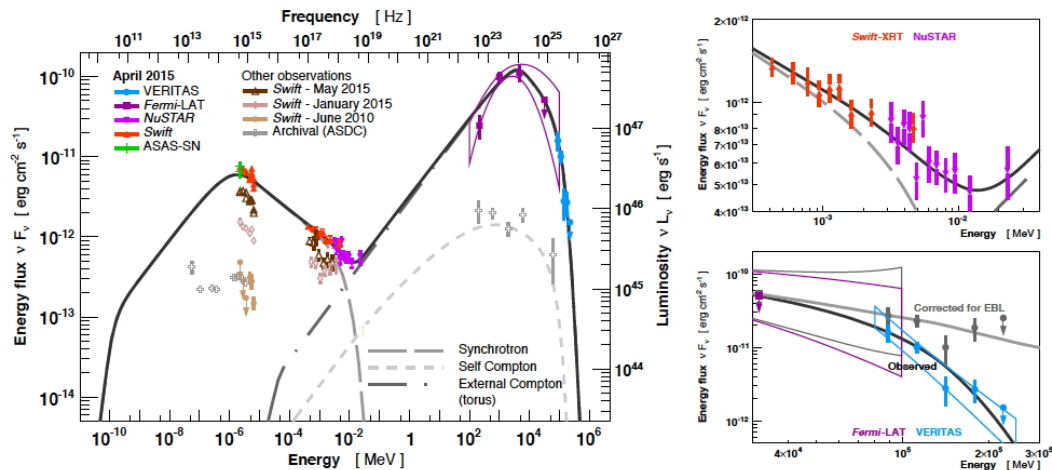


Figure 2 : Le rayonnement estimé du fond diffus extragalactique depuis l'infrarouge proche jusqu'à l'ultraviolet. La limite supérieure déduite de cet article est montrée en bleu. Elle est compatible avec l'estimation du fond extragalactique. Crédit A. U. Abeysekera et al., arXiv:1512.04434v1.

