



# Noyaux et jets galactiques

## *Le jet de M87*

*Basé sur un document NRAO*

Le réseau VLA (Karl G. Jansky Very Large Array) a permis de découvrir que le jet de matière propulsé du noyau de M87 est canalisé par un champ magnétique hélicoïdal jusqu'à près de 3 300 années-lumière. Jamais on n'avait détecté un tel champ magnétique dans un jet galactique aussi loin du trou noir supermassif.

*Le cœur de la galaxie elliptique géante Messier 87. Composite d'observations obtenues par le télescope spatial Hubble dans les domaines visible et infrarouge et permettant de résoudre le jet bleu. Le champ de vision est de 1,5 minute d'arc, le jet s'étend sur environ 20 secondes d'arc avec une largeur d'environ 2 secondes d'arc, ce qui, à la distance de 53 millions d'années-lumière, correspond à 5 000 années-lumière.  
(NASA/STScI)*

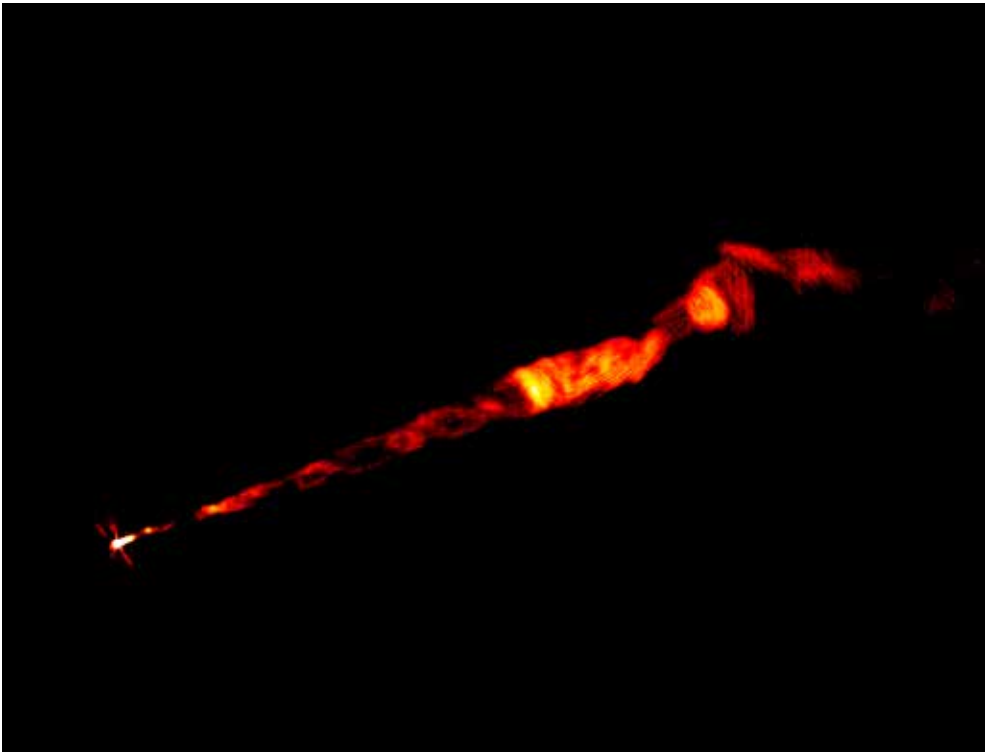
Ce sont des images VLA de haute qualité obtenues à plusieurs longueurs d'onde radio différentes qui ont conduit à révéler la structure tridimensionnelle du champ magnétique dans le jet. La matière trace une double hélice qui rappelle la structure de l'ADN.

M87 est une galaxie elliptique géante située à environ 53 millions d'années-lumière de la Terre. Un trou noir supermassif, environ 6,5 milliards de fois plus massif que le Soleil, se cache au centre de M87. Ce trou noir est le premier à avoir été imagé – un exploit réalisé grâce à la collaboration mondiale du télescope Event Horizon (EHT) et annoncé en 2019 (*Le Ciel*, juin 2019, 331).

Cette année, de nouvelles images EHT ont tracé le champ magnétique à proximité

de l'horizon des événements du trou noir. Les images VLA ont montré les détails du champ magnétique en suivant la polarisation des ondes radio émises par celui-ci, et en mesurant l'intensité du champ dans différentes parties du jet. Les observations ont été réalisées dans la configuration la plus étendue du réseau d'antennes, celle qui offre la plus haute résolution spatiale.

*Image VLA du jet radio M87, réalisée à plusieurs fréquences radio. Le jet vu sur cette image a une longueur d'environ 8 000 années-lumière. Cette image montre clairement la structure en tire-bouchon dans la partie interne du jet.*  
(Sophia Dagnello, NRAO/AUI/NSF)



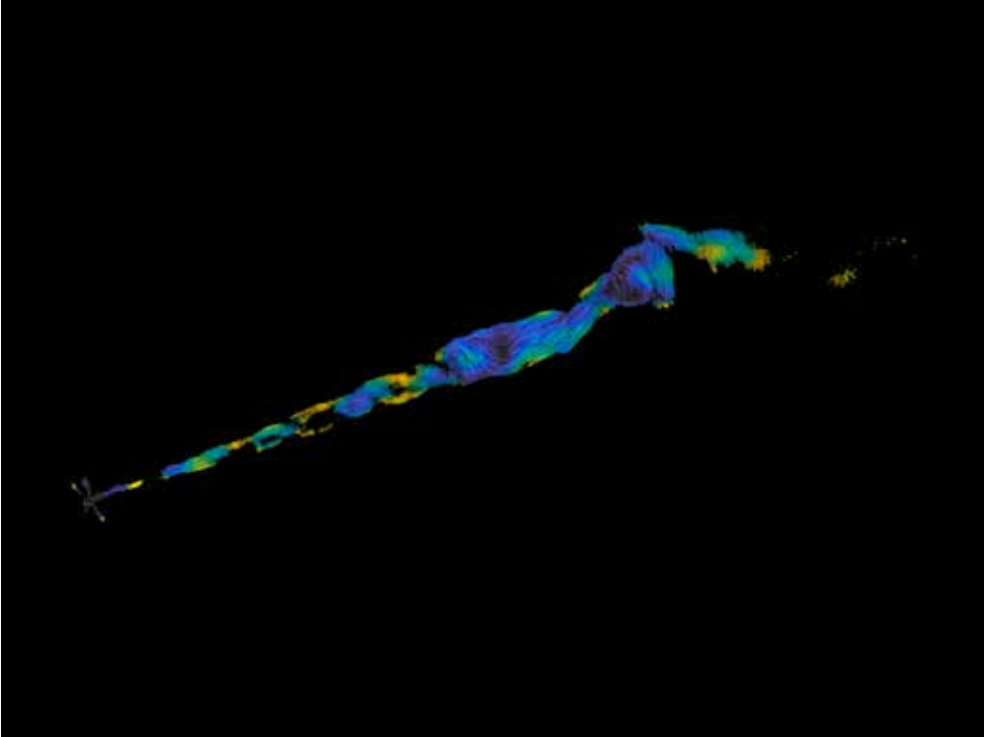
On s'attendait bien à trouver des champs magnétiques hélicoïdaux à proximité du trou noir. On pense qu'ils jouent un rôle très important dans la canalisation de la matière en un jet étroit. La surprise consiste dans leur intensité aussi loin du trou noir.

Le champ magnétique doit s'affaiblir progressivement en s'éloignant du trou noir. Cependant, des instabilités dans le flux de matière à l'intérieur du jet pourraient rendre le champ magnétique plus ordonné aux distances observées sur les nouvelles images du VLA. Les instabilités produisent des régions de plus haute pression qui compriment également les lignes du champ magnétique.

Les astronomes pensent que cette interaction entre les instabilités du flux et

le champ magnétique est à l'origine de la structure en double hélice. Si le phénomène se produit dans le jet de M87, il est probable qu'il se produise également dans les jets d'autres galaxies. La galaxie M87 est relativement proche de nous et son jet est très puissant, ce qui en fait une excellente cible à étudier. Les indices qu'elle nous donne peuvent nous aider à comprendre ce phénomène très important et omniprésent dans l'Univers.

***Image VLA du jet radio M87 utilisant les propriétés de polarisation pour tracer les lignes de champ magnétique dans le jet. Ces lignes suivent la structure en double hélice. La direction des champs magnétiques est différente aux bords opposés du jet, ce qui appuie cette conclusion. (Pasetto et al., Sophia Dagnello, NRAO/AUI/NSF)***



## ***Deux trous noirs centraux dans NGC 7727***

*Basé sur un communiqué ESO*

Le VLT de l'ESO a permis la découverte de deux trous noirs supermassifs au centre de la galaxie NGC 7727, une spirale barrée située dans le Verseau à 89 millions d'années-lumière de nous. La paire de trous noirs la plus proche que l'on connaissait auparavant était distante de 470 millions d'années-lumière. Le couple de NGC 7727 a également battu le record de la plus petite séparation entre deux trous noirs supermassifs, puisqu'ils ne sont écartés que de 1 600 années-lumière.

Le faible écartement et la vitesse des deux trous noirs indiquent qu'ils vont probablement fusionner dans les 250 millions d'années à venir. La fusion de trous noirs comme ceux-ci pourrait expliquer comment les trous noirs les plus massifs de l'Univers ont vu le jour.

Les masses des deux objets ont été estimées à partir du mouvement des étoiles qui les entourent. Le plus gros des trous noirs situés au cœur de NGC 7727 a une masse de près de 154 millions de fois celle du Soleil, tandis que celle de son compagnon vaut 6,3 millions de masses solaires.



C'est la première fois que les masses ont été mesurées de cette manière pour une paire de trous noirs supermassifs. Cet exploit a été rendu possible grâce à la proximité du système par rapport à la Terre et aux observations détaillées réalisées à l'observatoire de Paranal à l'aide de l'instrument MUSE (Multi-Unit Spectroscopic Explorer) du VLT. En mesurant les masses avec MUSE et en utilisant des données supplémentaires du télescope spatial Hubble, on a pu confirmer que les objets de NGC 7727 étaient bien des trous noirs supermassifs.

Les astronomes soupçonnaient que la galaxie abritait deux trous noirs, mais ils n'avaient pas été en mesure de confirmer leur présence car on n'observait pas beaucoup de rayonnement de haute énergie provenant de leur environnement immédiat. Son aspect particulier, avec plusieurs

extensions, ou bras, de forme irrégulière avaient conduit Halton Arp à l'inclure dans son *Atlas of Peculiar Galaxies* (Arp 222). Selon toute vraisemblance, ce système provenait de la fusion de deux galaxies spirales. On soupçonnait au moins l'une des deux sources d'aspect stellaire visibles au centre de NGC 7727 d'être le noyau de l'une de ces deux galaxies spirales.

La confirmation de ce double trou noir central implique qu'il pourrait y avoir beaucoup de ces vestiges de fusions de galaxies et qu'ils pourraient contenir de nombreux trous noirs massifs cachés, attendant d'être découverts. Cela pourrait augmenter de 30% le nombre total de trous noirs supermassifs connus dans l'Univers local.



*La galaxie NGC 7727 montre deux noyaux lumineux constitués chacun d'un amas stellaire compact avec un trou noir supermassif en son centre. Les deux trous noirs sont sur une trajectoire de collision et forment la paire de trous noirs supermassifs la plus proche découverte à ce jour. Il s'agit également de la paire la plus serrée connue.*

*L'image de gauche a été prise avec l'instrument MUSE sur le VLT de l'ESO, celle de droite avec le VLT Survey Telescope (VST) de l'ESO.*

*(ESO/Voggel et al. ; ESO/VST ATLAS team ; Durham University/CASU/WFAU)*

## Amas de galaxies RBS 797

*Basé sur un communiqué Chandra Observatory*

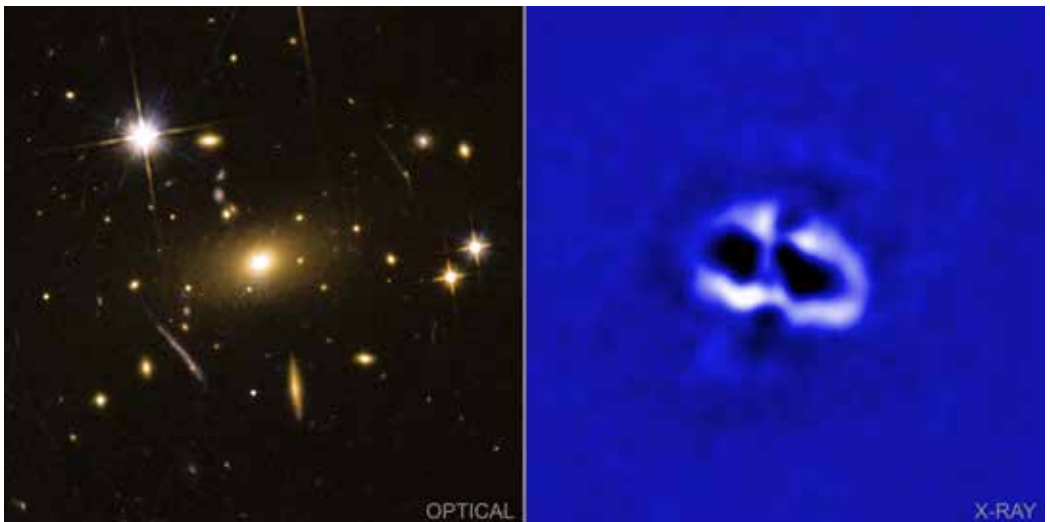
L'observatoire spatial X Chandra a révélé quatre énormes cavités au centre de l'amas de galaxies RBS 797 situé à environ 3,9 milliards d'années-lumière. Cette étrange structure pourrait avoir été créée par les éruptions de deux trous noirs supermassifs en orbite étroite l'un autour de l'autre.

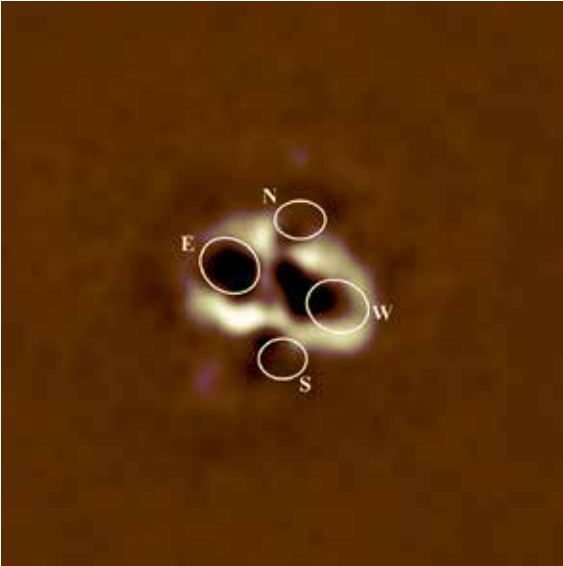
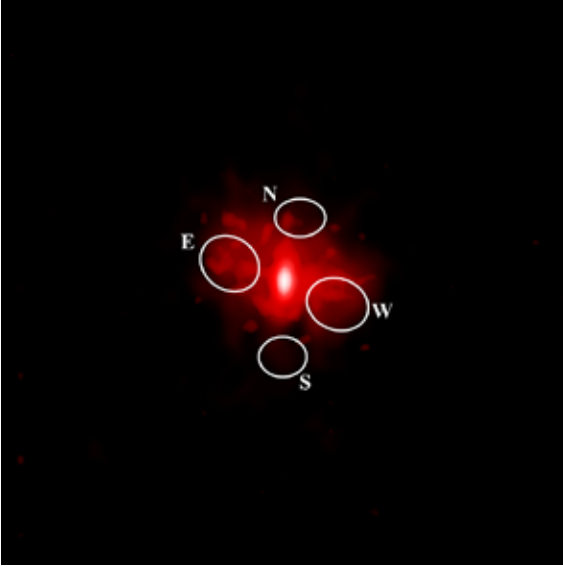
Les amas de galaxies sont les plus grandes structures de l'Univers maintenues ensemble par la gravité. Ils sont composés de centaines, voire de milliers de galaxies individuelles, ainsi que d'énormes quantités de gaz chaud et de matière noire. Le gaz chaud représente une masse plus importante que les galaxies elles-mêmes, et brille dans les longueurs d'onde X. L'étude par Chandra de RBS 797 a mis en évidence deux paires distinctes de cavités s'éloignant du centre de l'amas. Ce type de cavités a déjà été observé dans d'autres amas de galaxies. Les scientifiques pensent qu'elles sont le résultat d'éruptions provenant de régions proches d'un trou noir supermassif situé au milieu de la galaxie centrale massive. Lorsque la matière s'éloigne du trou noir sous forme de jets symétriques, elle crée des cavités dans le gaz chaud. L'originalité de RBS 797

est qu'il existe deux ensembles de jets dirigés perpendiculairement l'un à l'autre.

L'une des paires de cavités, dirigée est-ouest, était déjà connue, mais la paire nord-sud n'a été détectée que grâce à une nouvelle observation Chandra, très profonde, étalée sur près de cinq jours. La découverte des premières bulles n'avait demandé que 14 heures de pose. Le VLA (Very Large Array Karl G. Jansky) avait quant à lui apporté des preuves radio de l'existence de jets alignés avec les cavités.

*Quatre énormes cavités ont été découvertes par Chandra au centre de l'amas de galaxies RBS 797. Le panneau de gauche montre une image de l'amas prise par le télescope spatial Hubble. Le gaz chaud qui enveloppe les galaxies est invisible dans le domaine optique, mais il est détecté en rayons X par Chandra (à droite). Une paire de cavités est visible à gauche et à droite du centre de l'image Chandra sous la forme d'ovales noirs. L'autre paire est moins distincte, mais peut être trouvée au-dessus et en dessous du centre de l'image. (X-ray : NASA/CXC/Univ. of Bologna/F. Ubertosi ; Optique : NASA/STScI/M. Calzadilla)*





**Images radio et X des cavités au centre de RBS 797.**  
(NASA/CXC/Univ. of Bologna/  
F. Ubertosi; Radio : NSF/NRAO/  
ALMA)

Comment ce quatuor de cavités a-t-il été créé? La réponse la plus probable est que RBS 797 contient une paire de trous noirs supermassifs qui ont lancé des jets dans des directions perpendiculaires presque en même temps. On sait que les trous noirs supermassifs peuvent être en couples, mais il est extrêmement rare que les deux membres d'une paire soient observés en pleine phase active. La découverte de deux trous noirs actifs proches produisant les cavités de RBS 797 est donc assez extraordinaire.

Des observations radio avec le réseau européen VLBI (EVN) avaient permis la découverte de deux sources radio ponctuelles séparées par seulement environ 250 années-lumière dans RBS 797. Si les deux sources sont des trous noirs supermassifs, elles constituent la paire la plus serrée jamais détectée. Les deux trous noirs devraient continuer à spiraler l'un vers l'autre, générant d'énormes quantités d'ondes gravitationnelles, et finir par fusionner.

On peut expliquer les quatre cavités observées dans RBS 797 avec un scénario impliquant un seul trou noir supermassif dont les jets parviendraient à changer de direction assez rapidement. L'analyse des données Chandra montre que la différence d'âge entre les cavités est-ouest et nord-sud est inférieure à 10 millions d'années. Il faudrait donc expliquer comment un tel basculement de l'orientation des jets a pu se produire, s'il est lié à l'environnement de l'amas de galaxies, à la physique du trou noir, ou à une combinaison des deux.

## **Mini-jet galactique**

*Basé sur un communiqué NASA*

Le trou noir central de la Voie lactée semble montrer les vestiges d'un jet datant de plusieurs milliers d'années. Si le télescope spatial Hubble n'a pas photographié ce jet fantôme, il a permis de trouver des preuves circonstancielles indiquant qu'il heurte faiblement un nuage d'hydrogène interstellaire avant de se disperser, comme le jet d'un tuyau d'arrosage dirigé sur un tas de sable.

Le trou noir, d'une masse de 4,1 millions de soleils, n'est donc pas un monstre endormi. Il hoquette périodiquement lorsqu'il capture des étoiles ou des nuages de gaz dans son disque d'accrétion. Une partie de la matière est renvoyée dans l'espace via des jets collimatés par de puissants champs magnétiques. Ces faisceaux étroits sont accompagnés de rayonnements ionisants de haute énergie.

En 2013, la preuve de l'existence d'un jet au sud du trou noir avait été apportée par les observations X de l'observatoire spatial Chandra et celles, en ondes radio, du VLA (Jansky Very Large Array) au Nouveau-Mexique. Ce jet semble lui aussi heurter le gaz interstellaire.

Soucieux de savoir s'il y avait une contrepartie au nord, les astronomes ont d'abord examiné les données d'archives concernant des molécules telles que l'alcool méthylique et le monosulfure de carbone obtenues par le réseau ALMA qui utilise des longueurs d'onde millimétriques pour scruter les nuages qui s'interposent entre nous et le noyau galactique. ALMA révèle effectivement une structure linéaire étroite, en expansion dans le gaz moléculaire, et qui peut être retracée jusqu'au trou noir, à au moins 15 années-lumière. Les images infrarouges de Hubble montrent une condensation de gaz chaud dans l'alignement du jet à une distance d'au moins 35 années-lumière du trou noir. Les chercheurs pensent que le jet du trou noir a traversé ce gaz et l'a échauffé.

En traversant le gaz, le jet heurte la matière et se disperse en une série de bulles en expansion qui s'étendent jusqu'à au moins

500 années-lumière. Cette structure plus large de « bulles de savon » a été cartographiée à différentes longueurs d'onde par d'autres télescopes.

Des modèles suggèrent que la luminosité du trou noir central a été multipliée par au moins un million au cours du dernier million d'années. Cela a suffi pour qu'un jet pénètre dans le halo galactique.

Des observations antérieures réalisées par Hubble et d'autres télescopes ont mis en évidence que le trou noir de la Voie lactée a connu une explosion il y a 2 à 4 millions d'années. Cette explosion a été suffisamment énergique pour créer deux immenses bulles symétriques qui dominent notre galaxie et qui brillent en rayons gamma. Elles ont été découvertes par le télescope spatial Fermi en 2010. Elles sont entourées de bulles émettant dans les rayons X qui ont été découvertes en 2003 par le satellite ROSAT et cartographiées en 2020 par le satellite eROSITA. Les spectres Hubble ont permis de mesurer la vitesse d'expansion de ces structures. L'explosion fut si puissante qu'elle a illuminé le gaz du courant de Magellan distant de 200 000 années-lumière du centre galactique. Aujourd'hui encore, des gaz brillent à la suite de cet événement.

Pour avoir une comparaison, les astronomes ont examiné les images Hubble et radio d'une autre galaxie possédant un trou noir. Située à 47 millions d'années-lumière, la galaxie spirale active NGC 1068 présente une série de bulles le long d'une ligne provenant du trou noir très actif en son centre. Les échelles des structures radio et X émergeant de NGC 1068 et de la Voie lactée sont très similaires. NGC 1068 nous montre peut-être à quoi ressemblerait notre galaxie lors de son éruption d'il y a plusieurs millions d'années.

Le jet résiduel est si proche du trou noir de la Voie lactée qu'il suffit de quelques décennies pour le réactiver et le remplir à nouveau d'un faisceau de particules après une éruption du trou noir. Pour atteindre les bulles de rayons gamma de Fermi, il faudrait que le jet se maintienne pendant des centaines de milliers d'années, car ces bulles ont chacune 50 000 années-lumière de diamètre.



*Vue composite des rayons X, du gaz moléculaire et du gaz chaud ionisé près du centre galactique. Un transparent montre l'axe suggéré d'un mini-jet provenant du trou noir. Le gaz incandescent apparaît en orange. À l'extrémité supérieure du jet, on voit un nuage d'hydrogène frappé par le jet. Le jet disperse le nuage vers le nord. Près du trou noir, on observe en rayons X les gaz surchauffés (en bleu) et des gaz moléculaires (en vert).*

*Ces données prouvent que le trou noir accrète occasionnellement des étoiles ou des nuages de gaz et éjecte une partie de la matière surchauffée le long de son axe de rotation. De futures images de l'ombre du trou noir réalisées avec le télescope Event Horizon pourraient révéler où et comment le jet est lancé.*

*(NASA, ESA, Gerald Cecil (UNC-Chapel Hill), J. DePasquale (STScI); CC BY 4)*

