



La première image jamais obtenue d'un trou noir, celui de la galaxie M87.

noir. Fin de l'histoire? Non, car les trous noirs sont des objets petits, très petits. C'est là que résidait le défi relevé par les astronomes de l'*Event Horizon Telescope* (EHT) en avril 2019.

Quand il ne tourne pas sur lui-même, le rayon d'un trou noir se calcule simplement: trois kilomètres par masse solaire. Un trou noir stellaire typique de dix masses solaires a donc un rayon de 30 kilomètres, ce qui est très petit. Depuis la Terre, aucune image détaillée de la surface d'un astéroïde de cette taille, même situé à «seulement» quelques centaines de millions de kilomètres, n'est possible avec des télescopes au sol. Et les trous noirs sont immensément plus éloignés. Sur les probables dizaines de millions de trous noirs de notre Galaxie, les quelques dizaines

connus sont tous à plusieurs milliers d'années-lumière, soit plusieurs millions de milliards de kilomètres.

UNE MOLÉCULE D'EAU À 30 KILOMÈTRES

Quelques chiffres illustrent la difficulté. Le plus souvent, la taille angulaire d'un objet de rayon R situé à une distance d est donnée par la formule $2R/d$, le résultat étant donné en radians. Pour un trou noir, la formule est légèrement plus favorable. Puisqu'un trou noir dévie la lumière, l'effet de focalisation lui confère (ou plutôt confère à sa silhouette) une taille environ 2,5 fois plus grande. Prenons l'exemple de Cygnus X-1, le plus célèbre des trous noirs stellaires, et le tout >

> premier identifié comme tel. D'une masse proche de dix masses solaires, il est situé à 5000 années-lumière du Soleil. Son diamètre angulaire est donc de... 3×10^{-15} radians, soit, pour parler en des unités plus pratiquées dans la communauté astronomique, 0,6 nanoseconde d'angle (rappelons qu'on subdivise un degré en 60 minutes d'angle, elles-mêmes subdivisées en 60 secondes d'angle). Précisons que l'œil humain à une résolution qui au mieux approche 1 minute d'angle, soit 100 milliards de fois trop. Aussi, quelle que soit l'analogie que l'on puisse considérer, un tel diamètre angulaire est ridiculement petit. Il correspond à un unique proton à 25 cm de distance, ou à une molécule d'eau à 30 kilomètres. Inaccessible!

Faute de voir des petits trous noirs, tournons-nous vers les gros, les trous noirs supermassifs. Ils sont beaucoup plus rares, puisqu'on n'en compte qu'un seul par galaxie au sein de laquelle il se trouve invariablement au centre. Mais même de ce côté, le choix reste limité. Il y a certes Sgr A* au cœur de notre propre Galaxie. Sa masse est connue précisément, car on peut suivre mois après mois la trajectoire des étoiles qui orbitent autour. L'une d'elles notamment, baptisée S-2, boucle une révolution autour de lui en une quinzaine d'années. Elle fait l'objet d'un suivi depuis les années 1990, et les astronomes ont pu scruter précisément son orbite, qui permet, *via* des lois établies il y a quatre siècles par Johannes Kepler, de déterminer la masse de ce trou noir à 4,1 millions de masses solaires, un chiffre hélas assez modeste pour un trou noir supermassif.

Placé à environ 26000 années-lumière, ce trou noir occupe une taille bien plus grande que Cygnus X-1, quoiqu'encore très petite: environ 50 microsecondes d'angle, soit la taille apparente d'un objet de 10 centimètres qui se trouverait... sur la Lune. Autrement dit, vous pourriez peut-être voir la silhouette de Sgr A* si vous pouviez discerner les traces de pas de Neil Armstrong depuis la Terre.

Pour se rendre compte de la difficulté de l'entreprise, il est nécessaire de faire un détour par les lois de l'optique. Quand une onde lumineuse traverse une ouverture, l'effet est le même que pour la houle contournant la jetée d'un port: l'onde se déforme. Ce phénomène de diffraction est inévitable, même pour un télescope de très grande taille.

Vous pouvez faire l'expérience de ces déformations chez vous si vous avez des rideaux en tissu fin à vos fenêtres. Une source de lumière quasi ponctuelle située à l'extérieur de la pièce produit un motif en croix à la traversée du voilage, une réminiscence du tissage carré ou rectangulaire. De telles croix apparaissent également dans les clichés

astronomiques (*voir la figure page ci-contre*): dans un télescope, le miroir secondaire est en général maintenu au-dessus du miroir primaire par quatre supports métalliques qui déforment le front d'onde et favorisent la formation de ces croix caractéristiques sur les images dès que l'objet est brillant.

UN MIROIR DE DEUX KILOMÈTRES DE DIAMÈTRE

Un instrument optique a donc inévitablement une résolution finie. Plus précisément, elle est déterminée par le rapport de la longueur d'onde d'observation au diamètre du télescope. C'est là que le bât blesse. Ce rapport doit être plus petit que la taille angulaire de l'objet dans le ciel. Pour observer Sgr A* dans le domaine visible, la finesse de détail nécessaire serait seulement atteignable par un miroir unique de 2 kilomètres de diamètre. Et plus grand encore, car le centre galactique est opaque à la lumière visible. L'infrarouge proche serait pertinent, mais avec des longueurs d'onde au minimum deux ou trois fois plus grandes que celles de la lumière visible, un miroir devrait être deux à trois fois plus étendu...

Pour contourner cet écueil tout autant technique que financier, les astronomes peuvent compter sur une méthode envisagée dès le début du xx^e siècle par les physiciens américains Albert Michelson et Edward Morley: l'interférométrie. L'idée est de remplacer un unique appareil de (très) grand dia-

**Voir le trou noir
Sgr A* équivaut
à discerner les
traces de pas de Neil
Armstrong sur
la Lune... depuis
la Terre**

mètre par une collection d'instruments plus petits, puis de combiner leur lumière d'une façon astucieuse, afin de créer virtuellement un instrument bien plus grand, dont la taille sera de l'ordre de celle de la zone sur laquelle est réparti le réseau de télescopes.