

## Des monstres invisibles

Les astronomes pouvaient-ils rêver pire objet de recherche ?

Pour eux, dont la discipline repose sur l'étude des corps célestes, ces lumières dans le ciel, c'est le cauchemar ultime : une sphère contenant une quantité phénoménale de matière, mais qui n'émet aucun rayonnement. Un astre colossal, mais infiniment noir, sur le noir infini du cosmos... L'inobservable dans toute sa splendeur. Et pourtant...

Pourtant, les télescopes ont peu à peu convaincu les physiciens de l'existence réelle des trous noirs. Pourtant, en traquant tous les indices indirects possibles, les astronomes parviennent à tâtons à jauger ces monstres. Et la tâche est d'importance : non seulement les trous noirs sont suspectés d'être les architectes des galaxies, mais ils détiennent peut-être la clé d'une future théorie de la gravitation...

Les premiers signes des trous noirs ne sont pas venus du ciel, ils émergent de la pure théorie. Le concept prend naissance dans le fait que la vitesse de la lumière est finie. Pour comprendre, il faut savoir qu'un objet ne peut se soustraire à la gravitation d'un autre que s'il est doté d'une certaine vitesse. Par exemple, pour s'échapper de la Terre, une fusée doit s'élancer à plus de 11,2 kilomètres par seconde, sa vitesse de libération. Et on calcule – même si l'idée est absurde – que si cette fusée était placée à la surface du Soleil, elle devrait atteindre une vitesse de quelques centaines de kilomètres par seconde pour s'échapper.

Plus précisément, l'objet doit avoir une énergie cinétique initiale lui permettant de « vaincre » son énergie potentielle de gravitation,

$$\frac{1}{2}mv_{lib}^2 = \frac{GmM}{R}$$

soit

$$v_{lib} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

Mais il existe des étoiles bien plus denses que le Soleil. Une étoile à neutrons, par exemple, condense sur quelques kilomètres la masse de plusieurs soleils. Pour se libérer de son champ gravitationnel, il faut cette fois acquérir une vitesse de 200 000 km/s. La lumière y parvient encore, mais de justesse. Maintenant, rien n'empêche d'imaginer un astre plus dense encore, dont la vitesse de libération pour dépasser celle de la lumière, soit 300 000 km/s. Une fois happé par un tel objet, aucun objet, aucune particule – fût-elle un photon – ne peut lui échapper : c'est un trou absolu, et un trou noir.

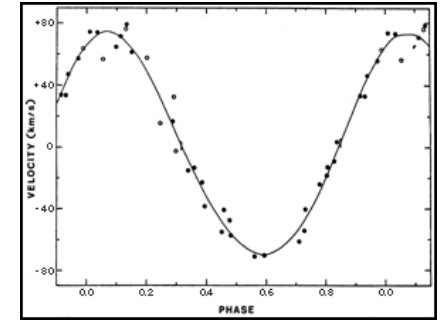


Image combinée du télescope Hubble (visible) et de l'Observatoire Chandra (RX) - J. Ester et al.

Délicant ? Pas du tout. Car, justement, la théorie de l'évolution des étoiles massives montre qu'en fin de vie, après avoir épuisé ses combustibles et explosé en supernova, certaines peuvent s'effondrer sur elles-mêmes et devenir assez compactes pour retenir jusqu'à la lumière. A titre d'exemple, notre Galaxie abriterait ainsi quelques dizaines, voire quelques centaines de millions de ces trous noirs ! C'est un chiffre finalement assez faible au vu du nombre probable d'étoiles de la Voie Lactée – plusieurs centaines de milliards – et qui laisse bien peu de chances d'en trouver un à proximité de nous. Encore moins de chances d'en voir... Car la théorie est

formelle : le rayon ou *horizon* d'un trou noir vaut, en kilomètres, trois fois sa masse exprimée en masses solaires. Ainsi, un trou noir qui pèserait dix fois la masse du Soleil aurait un rayon de 30 km seulement. Et comme il a toutes les chances – vu sa rareté – de se situer à plus d'un milliard d'années-lumière de nous, c'est-à-dire quelques dizaines de millions de milliards de kilomètres, il en résulte que voir un objet de si petite taille à cette distance, c'est comme distinguer une bactérie sur la Lune... Noir, et beaucoup trop petit pour être vu : désespérant.

Heureusement, il arrive que les trous noirs soient trahis par leurs compagnes. En effet, les étoiles évoluent parfois en couple, formant des systèmes binaires, et les trous noirs ne dérogent pas à cette tradition. C'est le cas de Cygnus-X1, le premier trou noir repéré dès le début des années 1970. On l'observa en effet via une étoile supermassive, HD226868, en orbite autour d'une mystérieuse source de rayons X très compacte : l'étoile gravitait autour d'un trou noir qui aspirait une partie de sa matière. Chauffées à l'extrême avant de sombrer à jamais dans le vortex du trou noir, ces gaz émettent des rayons X caractéristiques de leur immense température. Depuis, quelques autres sources de rayons X ont été portées candidates au titre de trous noirs. Mais la pêche reste bien modeste.



La courbe de vitesse de la compagne optique de Cygnus-X1 permet d'en déterminer la masse.

Heureusement, les astrophysiciens en apprennent davantage de l'étude d'un autre type de trous noirs : les trous noirs supermassifs, qui trônent au centre des galaxies. Ceux-là jouent dans une autre catégorie : les nombres avec lesquels ils font jongler les spécialistes sont littéralement inimaginables. Relativement près de nous, à 55 millions d'années-lumière, la galaxie elliptique M87 possède un trou noir de 6 milliards de masses solaires. Et l'actuel détenteur du record dans la catégorie poids lourds a été découvert en décembre 2011 au milieu de la galaxie NGC4889, dans la Chevelure de Bérénice, à 330 millions d'années-lumière : il pèse 20 milliards de fois la masse du Soleil. Tout aussi difficile à imaginer, la taille de son horizon : 60 milliards de kilomètres, soit dix fois la distance entre le Soleil et Pluton !

Et c'est une bonne nouvelle pour les astronomes car, grâce à ces masses prodigieuses, les objets les plus sombres de l'Univers sont responsables des événements les plus brillants que l'on connaisse. Il s'agit de quasars (quasi-stellar radiosources), qui dégagent jusqu'à 1 000 milliards de fois plus de lumière que le Soleil. En effet, ces trous noirs supermassifs dévorent en quantité faramineuse tout le gaz et les étoiles s'approchant un peu trop près. Or, cette gigantesque soupe de matière irrésistiblement attirée se concentre en un disque – le disque d'accrétion – qui s'échauffe en tourbillonnant vers le centre du siphon, jusqu'à atteindre des millions de degrés. Comme un phare dans la noirceur du cosmos, la matière ainsi portée à incandescence signale la présence d'un « noyau actif de galaxie ». Un phare qui en fait voir de toutes les couleurs aux télescopes : ils émettent principalement dans l'ultraviolet, mais aussi dans l'infrarouge, la lumière visible, les rayons X, les rayons gamma et les ondes radio !

En outre, on a l'embarras du choix pour trouver une région du ciel qui en compte un : on estime qu'il y en a plusieurs centaines de milliards dans l'Univers. Et déjà 180 000 quasars sont précisément répertoriés. Certains télescopes sont même spécialement conçus pour balayer largement le ciel à leur recherche. A l'heure actuelle, le plus célèbre catalogue de relevé de

quasars est sans conteste le Sloan Digital Sky Survey : dirigé depuis un télescope de l'Observatoire d'Apache Point au Nouveau-Mexique, il transmet les coordonnées de plusieurs milliers d'objets chaque nuit. Il existe d'autres programmes, comme celui de l'observatoire Keck à Hawaï, qui répertorie ceux dont la luminosité infrarouge est amplifiée par les effets de lentille gravitationnelle, mais aussi Rosat pour les rayons X, Fermi pour les rayons gamma ou encore le télescope CFH (Canada-France-Hawaï) en lumière visible.

Bref, une fois l'objet choisi, les astrophysiciens exploitent tous les signes indirects qui trahissent son existence. Ils sont même parvenus, depuis la fin des années 1990, à peser ces astres invisibles en mesurant la vitesse des étoiles qui gravitent autour. Certes, à 300 millions d'années-lumière de la Terre, impossible de distinguer une à une les étoiles au cœur du disque d'accrétion mais, pour contourner cette difficulté, on mesure leur vitesse globale en regardant simplement leur couleur. En effet, la longueur d'onde de la lumière émise par un groupe d'étoiles s'éloignant de la Terre aura tendance à se décaler vers le rouge, tandis que les étoiles se rapprochant sembleront d'autant plus bleues que leur vitesse sera grande : c'est le principe de l'effet Doppler. Néanmoins, avec de telles approximations, la marge d'erreur reste grande : les calculs donnent 21 milliards de masses solaires comme masse la plus probable pour NGC4889, mais ce chiffre est en réalité compris entre 6 et 37 milliards...

Autre méthode possible : détecter les variations dans l'intensité des rayons X émis. Elles permettent d'estimer une taille maximale pour le trou noir. Par exemple, si depuis la Terre elles semblent durer une semaine, c'est que le trou noir mesure au maximum une semaine-lumière. On peut aussi utiliser la limite d'Eddington pour évaluer leur masse. Comme celle des étoiles, la lumière du disque d'accrétion dégage une énergie telle qu'elle exerce une pression sur la matière environnante. Ainsi, au-delà d'une certaine luminosité, le rayonnement est si fort qu'il empêche la matière de s'approcher et d'apporter du « carburant » au trou noir. Autrement dit, l'énergie lumineuse est auto-régulée, et ne peut excéder une certaine valeur – la limite d'Eddington – directement liée à la masse.

Le trou noir qui se prête le mieux à toutes les études, c'est Sagittarius A, celui qui se tapit au centre de la Voie Lactée. Il a l'avantage d'être près, tout près de nous : à moins de 30 000 années-lumière. Son point faible : étant niché au cours de notre propre Galaxie, il nous est caché par des millions d'étoiles, ainsi que par une couche de gaz, le tout formant un véritable écran entre lui et nous. Un peu comme si, postés à la lisière d'une forêt, nous essayions de discerner le chêne planté en son centre...

Heureusement, les grains de poussière entre la Terre et SgrA laissent passer 10% de la lumière infrarouge, qui traverse également notre atmosphère. Et grâce aux télescopes à optique adaptative qui corrigent les perturbations de l'atmosphère, les astronomes ont pu atteindre une résolution telle, dans la région du trou noir central, qu'ils ont commencé à distinguer des objets s'approchant dangereusement du monstre. L'un d'eux est passé à 17 heures-lumière de l'objet mystérieux, soit à peine trois fois plus que l'orbite de Pluton. On peut dresser un portrait-robot assez précis du mastodonte qui se terre au centre de la Voie Lactée. Masse : environ 4 millions de fois celle du Soleil. Diamètre : 25 millions de kilomètres. Signe particulier : très peu actif. Au final, c'est un trou noir plutôt modeste. Son régime est frugal – pauvre en gaz ; en revanche, il se gave d'astéroïdes.

A partir de 2001, le télescope spatial Chandra a détecté des flambées régulières de rayons X en provenant du trou noir ; elles durent plusieurs heures, pendant lesquelles sa luminosité est multipliée par 100.