



Image d'un trou noir : une première dans l'histoire de l'astronomie

Publié le lundi 29 avril 2019

Voir en ligne : <https://www.france-science.org/Image-d-un-trou-noir-une-premiere.html>

Le 10 avril 2019 fut relayée la toute première image d'un trou noir. *Powehi*, c'est son nom, est aussi massif que 6,5 milliards de soleils, et se situe à près de 55 millions d'années lumières de la planète Terre au centre de la galaxie M87, la plus lumineuse de l'amas de la Vierge.

Cette première dans l'histoire de l'astronomie est un fait du *Event Horizon Telescope* (EHT), un télescope virtuel à taille planétaire échafaudé grâce à une coopération scientifique internationale financée pour une grande part par les États-Unis, l'Europe et plusieurs autres pays (Canada, Chine, Japon, Mexique).

Selon Sheperd Doleman, astrophysicien du Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics et directeur du projet EHT : "Nous venons de réussir quelque chose qui était encore impensable il y a juste une génération de cela".

Du fait de leur densité extrême, les trous noirs piègent toute matière et toute lumière à leur proximité. Ils sont donc par nature invisibles mais identifiables par les effets qu'ils engendrent. L'un d'entre eux est la génération d'ondes gravitationnelles provoquée par la fusion de deux trous noirs, telle que détectée pour la première fois en 2015 par la collaboration LIGO-VIRGO ; elle fut l'objet du prix Nobel de physique en 2017.

Depuis les [travaux d'une collaboration germano-américaine publiée en 1999](#), observer un trou noir s'est avéré réalisable, grâce notamment à la lumière émise par des gaz extrêmement chauds localisés à leur périphérie. Deux cibles ont été pressenties pour une étude plus approfondie en raison de leur taille exceptionnelle (trous noirs dits "supermassifs") : l'une au cœur de la galaxie M87 (du nom de son découvreur français, Charles Messier), située à 55 années lumières de la Terre et l'autre, Sagittarius A*, une source d'ondes radio particulièrement active dans la Voie Lactée.

C'est en 2017, près de 10 ans après l'initiation du projet, que l'EHT lance une série d'observations de M87 à l'aide des 8 radiotélescopes haute performance répartis à la surface du globe terrestre. Le projet aura mobilisé plus de 200 chercheurs de vingt nationalités différentes, provenant de 62 instituts dans le monde. L'intégralité de l'étude scientifique a été publiée dans la revue spécialisée *The Astrophysical Journal Letters* parue le 10 avril 2019.

Une nouvelle pierre à l'édifice de la relativité générale

Dès 1915, le concept de trou noir avait été rendu possible par la théorie de la relativité proposée par Albert Einstein. Lors de l'implosion d'une étoile en fin de vie (phénomène de supernova), celle-ci peut s'effondrer sur elle-même et déformer suffisamment l'espace-temps pour entraîner toute matière avoisinante en son centre. La singularité ainsi créée possède une densité quasiment infinie au point que même la lumière n'en échappe, se traduisant par un disque noir. Cette zone de non-retour est délimitée par une frontière immatérielle dite «

horizon des évènements », d'où le nom du télescope.

La deuxième conséquence de cette courbure de l'espace-temps est l'échauffement intense de la matière qui gravite au-delà de cet horizon. La vitesse élevée et les phénomènes de friction intenses produisent un champ magnétique ainsi que diverses radiations (lumière visible, rayons X, infrarouges et ondes radio). Si ces rayonnements sont détectés, ils peuvent alors révéler la position du trou noir.



Quarante ans après la [première simulation de l'image d'un trou noir par le Français Jean-Pierre Luminet](#), la photo révélée par les chercheurs de l'EHT révèle l'anatomie d'un authentique trou noir avec son disque d'accrétion. Cette image concorde parfaitement avec la théorie et les simulations réalisées depuis, ce qui constitue une preuve de premier choix quant à la théorie de la relativité générale comme le souligne Maria Zuber, vice-présidente de la recherche au MIT : "Ces images remarquables du trou noir prouvent une fois de plus qu'Einstein avait raison".

Un télescope virtuel à l'échelle planétaire

Les informations collectées par l'EHT reposent sur la technique d'interférométrie à très longue base (*VLBI pour very-long-baseline interferometry*) qui consiste à coordonner les mesures des différents télescopes à la surface de la terre en prenant en compte la rotation de cette dernière pour obtenir une image complète du trou noir. Le réseau mis en place dénombre 8 radiotélescopes :

- Le SMT (Sub Millimeter Telescope) de l'Arizona Radio Observatory, localisé au Sud-Est de l'état d'Arizona (3100 mètres d'altitude).
- Le JCMT (James Clerk Maxwell Telescope) et le SMA (Submillimeter Array) tous deux situés à Hawaï (respectivement à 4092 mètres et 4070 mètres).
- Le 30m de l'IRAM (Institut de Radioastronomie Millimétrique fondé en 1979 par le CNRS) situé à Pico Veleta en Espagne (2850 mètres).
- Le Large Millimeter Telescope "Alfonso Serrano" situé au sommet du volcan Sierra Negra au Mexique (4600 mètres).
- L'ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) et APEX (Atacama Pathfinder Experiment) situés dans le nord du Chili, (5000 mètres).
- Le SPT (South Pole Telescope) situé au centre dans la station polaire Antarctique et opéré par l'Université de Chicago.



Ces radiotélescopes ne sont cependant pas physiquement connectés, c'est pourquoi leurs captures d'images sont synchronisées par l'intermédiaire d'horloges atomiques. Afin d'optimiser la sensibilité et les performances de l'EHT, l'image du trou noir a été réalisée à partir de la détection d'ondes dites millimétriques (longueur d'onde 1.3 mm) permettant un pouvoir de résolution inégalé de 20 microsecondes d'arc.

La campagne de collecte s'est étendue du 5 au 11 avril 2017 ; une période pendant laquelle l'EHT a quotidiennement récolté 350 terabytes de données brutes. Ces données ont été transmises au MIT Haystack Observatory d'une part, et au Max Planck Institute for Radio Astronomy d'autre part, munis de superordinateurs capables d'une puissance de calcul 100 000 fois supérieure à celle d'un ordinateur de bureau. La reconstitution de l'image finale aura nécessité d'importantes ressources informatiques et humaines, en

exploitant notamment certains algorithmes déjà connus du domaine astronomique (ex : CLEAN), et en développant d'autres tels que le CHIRP (Continuous High-resolution Image Reconstruction using Patch priors) à l'initiative de l'équipe du MIT.

Une coopération internationale financée en grande partie par la NSF et le Conseil européen de la recherche

Si le projet EHT a été financé au total par 43 institutions de 17 pays différents, les Etats-Unis, et plus particulièrement la NSF (National Science Foundation), y ont largement contribué. Sur les 60 millions de dollars qu'a coûté le projet, 28 millions ont été subventionnés par l'agence fédérale américaine et environ 16 millions par le Conseil européen de la recherche dans le cadre du programme Horizon 2020. Qualifiant la découverte de « huge day in astrophysics », la directrice de l'agence fédérale américaine, France Cordova, a souligné que ce type de projet constituait la raison d'être de la NSF.

Outre le rôle prépondérant des deux télescopes hawaïens et du SMT en Arizona, le télescope SPT localisé en Antarctique fut soutenu en grande partie par les Etats-Unis, puisque subventionné par la NSF et directement piloté par l'Université de Chicago. Cette installation a également reçu le soutien de l'Université de Berkeley, l'Université de Boulder au Colorado et la Smithsonian Institution.

Le DoE (Department of Energy) quant lui a contribué à l'optimisation du telescope SPT par l'intermédiaire des deux laboratoires de recherche nationaux, le Fermi National Accelerator Laboratory et le Argonne National Laboratory, qui ont conçu la caméra Haute sensibilité dudit télescope polaire, baptisée SPT-3G, et bardée de plus de 16 000 capteurs.

La participation américaine concerne aussi le traitement des données massives ayant permis l'image du trou noir. Les données enregistrées ont été traitées dans les locaux du Haystack Observatory au MIT (Massachusetts Institute of Technology) près de Boston. Son directeur Colin Lonsdale explique que "l'ajustement des flux données et le gommage des petites perturbations de mesure entrant lors de la synchronisation sont au coeur des compétences du Haystack" en soulignant le défi informatique associé au projet "[il a fallu] développer de nouveaux supports de stockage haute capacité et des processeurs flexibles, le tout s'intégrant dans un format compatible avec la technologie VLBI".

Quelle est la suite ?

La chasse aux trous noirs ne s'arrête pas ici. Interrogée suite à son succès, l'équipe de l'EHT envisage de traquer d'autres noirs supermassifs, dont celui de la Voie Lactée, Sagittarius A* . L'intégration d'autres télescopes travaillant dans une gamme de longueurs d'ondes plus courtes, comme le radiotélescope français NOEMA (Northern Extended Millimeter Array) permettrait d'affiner significativement la qualité des images des trous noirs. Au dernier festival South By Southwest à Austin au Texas, Sheperd Doeleman a révélé son projet d'intégrer dans les dix prochaines années des télescopes spatiaux afin de réaliser des films en temps réel d'objets en orbite autour de trous noirs.

Après la première observation de trous noirs par le biais d'ondes gravitationnelles en 2015, et aujourd'hui leur première image directe, l'astrophysique expérimentale, soutenue par une coopération scientifique internationale forte, aura ouvert en l'espace de quelques années un nouveau chapitre de l'étude de l'univers noir.

Sources

https://iopscience.iop.org/journal/2041-8205/page/Focus_on_EHT

https://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=298276&WT.mc_id=USNSF_51&WT.mc_ev=click

https://www.nsf.gov/news/special_reports/blackholes/

<http://news.mit.edu/2019/mit-haystack-first-image-black-hole-0410>

<https://eventhorizontelescope.org/>

<http://www.cnrs.fr/en/noema-most-powerful-radiotelescope-northern-hemisphere-reaches-its-final-stage>

<https://www.ligo.caltech.edu/news/ligo20190326>

<https://www.pbs.org/newshour/science/ligo-gravitational-wave-collaborators-win-2017-nobel-prize-physics>
<https://www.forbes.com/sites/startswithabang/2019/04/11/10-deep-lessons-from-our-first-image-of-a-black-holes-event-horizon/#3d11d29955e6>

Rédacteurs :

Olivier Tardieu, Attaché scientifique adjoint, Consulat général de France à Houston ; Alain Mermet, Attaché scientifique