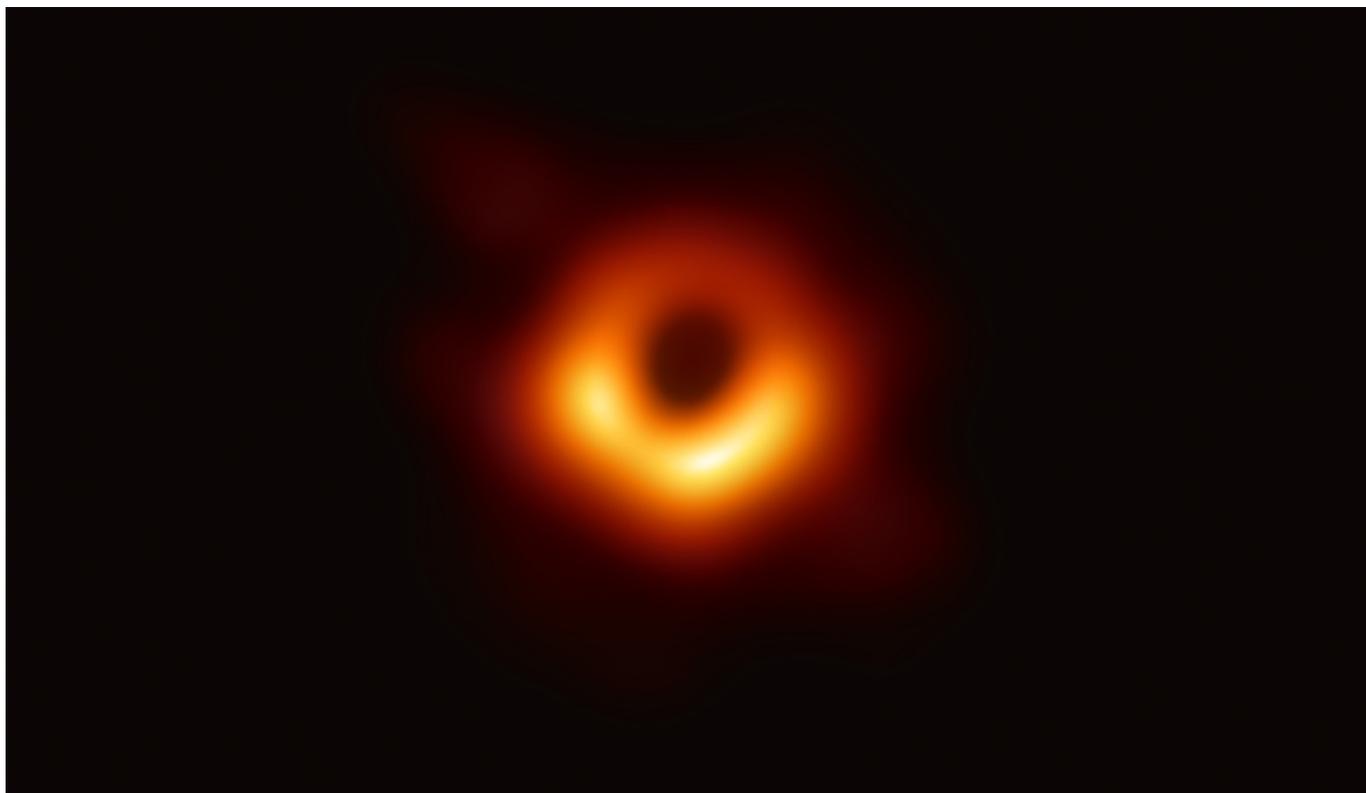


Les astronomes capturent la toute première image d'un trou noir

L'ESO, ALMA et APEX contribuent aux observations inédites du gigantesque trou noir situé au cœur de la galaxie Messier 87



Le « Event Horizon Telescope » (EHT) – un réseau constitué de huit radiotélescopes répartis sur la surface de la planète créé dans le cadre d'une collaboration internationale – a été conçu pour capturer les images d'un trou noir. Les chercheurs de l'EHT révèlent aujourd'hui à l'occasion de conférences de presse coordonnées autour du globe, qu'ils sont parvenus à obtenir la toute première preuve visuelle d'un trou noir supermassif et de son ombre.

Cette découverte fait l'objet de la parution, ce jour, d'un ensemble de six articles au sein d'une édition spéciale de la revue *The Astrophysical Journal Letters*. L'image révèle l'existence du trou noir au centre de Messier 87 [1], une galaxie massive de l'amas galactique Virgo. Ce trou noir est distant de quelque 55 millions d'années-lumière de la Terre et est doté d'une masse équivalant à 6,5 milliards de masses solaires [2].

L'EHT relie des télescopes du monde entier afin de constituer un télescope virtuel de la taille de la Terre [3]. L'EHT offre aux scientifiques une nouvelle façon d'étudier les objets les plus extrêmes de l'Univers dont la théorie de la relativité générale d'Einstein a prédit l'existence, au cours de l'année célébrant le centenaire de l'expérience historique ayant apporté la toute première confirmation de la validité de la théorie [4].

« Nous avons capturé la toute première photo d'un trou noir ! » s'enthousiasme Sheperd S. Doeleman du Centre d'Astrophysique Harvard & Smithsonian, par ailleurs directeur du projet EHT. « D'un point de vue scientifique, il s'agit d'un formidable exploit réalisé par une équipe composée de plus de 200 chercheurs ».

Les trous noirs sont de fabuleux objets cosmiques caractérisés par des masses extraordinairement élevées et des dimensions incroyablement compactes. La présence de ces objets affecte leur environnement de manière extrême, déformant l'espace-temps et surchauffant toute matière située à proximité.

« *Lorsqu'un trou noir baigne dans la lumière d'un disque de gaz lumineux par exemple, nous nous attendons à ce qu'il crée une région sombre, semblable à une ombre – une conséquence prédite par la théorie de la relativité d'Einstein mais demeurée inobservée à ce jour* », précise Heino Falcke de l'Université Radboud aux Pays-Bas, président du Conseil Scientifique de l'EHT. « *Cette ombre, causée par la courbure gravitationnelle et la capture de la lumière par l'horizon des événements, en dit long sur la nature de ces objets fascinants et nous a permis de déterminer l'énorme masse du trou noir de M87* ». Diverses méthodes de calibration et d'imagerie ont mis en évidence une structure en forme d'anneau encerclant une région centrale sombre – l'ombre du trou noir. Cette vision persista sur plusieurs observations indépendantes menées au moyen de l'EHT.

« *Lorsque nous avons été certains d'avoir capturé l'ombre, nous avons été en mesure de comparer le résultat obtenu avec de nombreux modèles numériques incluant la physique des espaces déformés, la matière surchauffée et de fort champ magnétiques* » remarque, Paul T.P. Ho et directeur de l'Observatoire de l'Asie de l'Est., membre du Conseil de l'EHT. « *L'image obtenue concorde parfaitement avec notre compréhension théorique, ce qui renforce la validité de l'interprétation de nos observations, y compris notre estimation de la masse du trou noir* », Ajoute le membre du Conseil de l'EHT Luciano Rezzolla de l'Université Goethe en Allemagne.

La création de l'EHT fut un formidable challenge, qui nécessita la mise à niveau ainsi que la connexion, au sein d'un réseau mondial, de huit télescopes opérant depuis divers sites d'altitudes élevées. Parmi ces sites figurent les volcans d'Hawaï et du Mexique, les montagnes de l'Arizona et de la Sierra Nevada espagnole, le Désert de l'Atacama au Chili, et l'Antarctique.

Les observations de l'EHT sont effectuées au moyen d'une technique baptisée interférométrie à très grande base (VLBI), qui synchronise les télescopes du monde entier et tire parti de la rotation de notre planète pour créer un vaste télescope de la taille de la Terre observant à la longueur d'onde de 1,3 mm. Le VLBI permet à l'EHT d'atteindre une résolution angulaire de 20 microsecondes d'arc – ce qui suffit pour lire un journal à New York depuis un café situé à Paris [5].

Les télescopes ayant contribué à ce résultat sont : ALMA, APEX, le télescope de 30 mètres de l'IRAM, le Télescope James Clerk Maxwell, le Vaste Télescope Millimétrique Alfonso Serrano, le Réseau Submillimétrique, le Télescope Submillimétrique, et le Télescope du Pôle Sud [6]. Les pétaoctets de données brutes acquises par les télescopes ont été combinés par des supercalculateurs dédiés de l'Institut Max Planck de Radioastronomie et de l'Observatoire Haystack du MIT.

Les installations et le financement européens ont largement contribué à cet effort mondial. Citons la participation des télescopes européens de pointe et le soutien du Conseil Européen de la Recherche – notamment la subvention de 14 millions d'euros accordée au projet BlackHoleCam [7]. Les soutiens de l'ESO, de l'IRAM et de la Max Planck Society furent également décisifs. «Ce résultat est le fruit de décennies d'expertise européenne dans le domaine de l'astronomie millimétrique» précise Karl Schuster, directeur de l'IRAM et membre du Conseil de l'EHT.

La construction de l'EHT et les observations annoncées ce jour représentent l'aboutissement de décennies de travaux d'observation, techniques et théoriques. Cet exemple de travail d'équipe à l'échelle globale a requis la collaboration étroite de chercheurs du monde entier. Treize institutions partenaires ont concouru à l'édification de l'EHT sur la base de l'infrastructure préexistante et grâce au soutien de divers organismes. La National Science Foundation (NSF), le Conseil Européen de la Recherche (ERC) et des agences de l'Asie de l'est [8] ont joué un rôle clé, en matière de financement.

« *L'ESO est ravi d'avoir contribué, de manière significative, à l'obtention de ce résultat, grâce à son leadership européen et à son implication majeure dans ALMA et APEX, deux des composants de l'EHT implantés au Chili* », précise Xavier Barcons, Directeur Général de l'ESO. « *ALMA est la composante la plus importante de l'EHT, et ses 66 antennes de haute précision ont joué un rôle essentiel dans le succès de l'EHT* ».

« Nous sommes parvenus à obtenir un résultat inimaginable voici 25 ans », conclut Sheperd S. Doelman. « Les avancées technologiques, les connexions établies entre les meilleurs observatoires radio au monde, et des algorithmes novateurs, ont ouvert une toute nouvelle fenêtre sur les trous noirs et l'horizon des événements ».

Notes

[1] L'ombre d'un trou noir est l'image la plus voisine possible du trou noir que nous puissions acquérir, un trou noir étant par définition un objet totalement noir dont aucune lumière n'est en mesure de s'échapper. La limite du trou noir – l'horizon des événements dont l'EHT tire son appellation – est quelque 2,5 fois plus petite que l'ombre qu'il projette. Son diamètre avoisine les 40 milliards de kilomètres.

[2] Les trous noirs supermassifs sont des objets astronomiques de dimensions relativement faibles – ce qui explique que l'on n'ait pu les observer directement jusqu'à présent. La taille de l'horizon des événements d'un trou noir est proportionnelle à sa masse – ainsi, plus un trou noir est massif, plus son ombre est étendue. En raison de sa masse élevée et de sa relative proximité, le trou noir de M87 s'annonçait être l'un des mieux observables depuis la Terre – en d'autres termes, une cible parfaite pour l'EHT.

[3] Bien que les télescopes ne soient pas physiquement connectés, ils s'avèrent capables de synchroniser leurs données acquises grâce à des horloges atomiques – des masers à hydrogène. Ces dernières enregistrent l'instant précis de leurs observations, effectuées à la longueur d'onde de 1,3 mm au cours de la campagne mondiale de 2017. Chacun des télescopes de l'EHT a produit d'énormes volumes de données – quelque 350 téraoctets par jour, qui furent stockées sur des disques durs remplis d'hélium et dotés de performances élevées. Ces données ont été transmises à des supercalculateurs dédiés – baptisés corrélateurs – à l'Institut Max Planck de Radioastronomie et à l'Observatoire Haystack du MIT dans le but d'être combinées. Elles ont ensuite été soigneusement converties en image au moyen de nouveaux outils informatiques mis au point par la collaboration.

[4] Voici 100 ans, deux expéditions embarquèrent en direction de l'île Principe au large de l'Afrique et de Sobral au Brésil pour observer l'éclipse de Soleil de 1919. Leur objectif était de tester l'une des prévisions de la théorie de la relativité générale : la courbure de la lumière en provenance des étoiles autour du limbe du Soleil. Faisant écho à ces observations, l'EHT a envoyé des membres de l'équipe sur quelques-unes des installations radio les plus élevées et les plus reculées au monde afin de tester à nouveau notre compréhension de la gravitation.

[5] Les prochaines observations de l'EHT bénéficieront d'une sensibilité améliorée grâce aux contributions de l'Observatoire NOEMA de l'IRAM, du Télescope du Groenland et du Télescope de Kitt Peak.

[6] ALMA est le fruit d'un partenariat entre l'Observatoire Européen Austral (ESO; Europe, représentant ses états membres), la National Science Foundation (NSF) aux Etats-Unis, les National Institutes of Natural Sciences (NINS) au Japon, le National Research Council (Canada), le Ministère des Sciences et Technologies (MOST; Taiwan), l'Institut d'Astronomie et d'Astrophysique de l'Academia Sinica (ASIAA; Taiwan), l'Institut d'Astronomie et de Sciences Spatiales de Corée (KASI; République de Corée), en collaboration avec la République du Chili. APEX est exploité par l'ESO, le télescope de 30 mètres est exploité par l'IRAM (les organisations partenaires de l'IRAM sont le MPG (Allemagne), le CNRS (France) et l'IGN (Espagne)), le télescope James Clerk Maxwell est exploité par l'EAO, le Vaste Télescope Millimétrique Alfonso Serrano est exploité par l'INAOE et l'UMass, le Réseau submillimétrique est exploité par la SAO et ASIAA et le Télescope Submillimétrique est opéré par l'Observatoire Radio d'Arizona (ARO). Le Télescope du Pôle Sud est exploité par l'Université de Chicago, divers instruments de l'EHT sont fournis par l'Université d'Arizona.

[7] BlackHomeCam est un projet financé par l'Union Européenne dont l'objectif est d'imager, de caractériser et de comprendre les trous noirs astrophysiques. La mission première de BlackHoleCam et de l'Event Horizon Telescope (EHT) est d'acquérir les toutes premières images du trou noir de milliards de masses solaires qui occupe la galaxie voisine M87 et de son petit cousin, Sagittarius A*, le trou noir supermassif situé au cœur de notre galaxie, la Voie Lactée. En résultera la détermination précise de la courbure de l'espace-temps causée par un trou noir.

[8] L'Observatoire de l'Asie de l'est (EAO) partenaire du projet EHT rassemble les contributions de nombreuses régions d'Asie parmi lesquelles la Chine, le Japon, la Corée, Taïwan, le Vietnam, la Thaïlande, la Malaisie, l'Inde et l'Indonésie.

Suppléments



Messier 87 (M87) est une énorme galaxie elliptique située à environ 55 millions d'années-lumière de la Terre, visible dans la constellation de la Vierge. Elle a été découverte par Charles Messier en 1781, mais n'a été identifiée comme galaxie qu'au 20^{ème} siècle. Avec le double de la masse de notre propre galaxie, la Voie lactée, et contenant jusqu'à dix fois plus d'étoiles, elle compte parmi les plus grandes galaxies de l'Univers local. Outre sa taille brute, M87 possède des caractéristiques uniques. Par exemple, elle contient un nombre anormalement élevé d'amas globulaires : alors que notre Voie lactée en contient moins de 200, M87 en contient environ 12 000, ce qui conduit certains scientifiques à supposer qu'elle les a prélevés chez ses voisines de plus petite taille.

Comme toutes les autres grandes galaxies, M87 a un trou noir supermassif en son centre. La masse du trou noir au centre d'une galaxie est liée à la masse globale de la galaxie, il ne devrait donc pas être surprenant que

le trou noir de M87 soit l'un des plus massifs connus. Le trou noir pourrait aussi expliquer l'une des caractéristiques les plus énergétiques de la galaxie : un jet relativiste de matière éjecté à une vitesse proche de celle de la lumière.

Le trou noir a fait l'objet d'observations de changement de paradigme par l'Event Horizon Telescope (EHT). L'EHT a choisi cet objet comme cible de ses observations pour deux raisons. Si la résolution de l'EHT est incroyable, il a aussi ses limites. Comme les trous noirs les plus massifs ont aussi un diamètre plus grand, le trou noir central de M87 présentait une cible inhabituellement grande, ce qui signifie qu'il pouvait être représenté plus facilement que les trous noirs plus petits situés à proximité. L'autre raison de le choisir, cependant, était vraiment plus terrestre. M87 apparaît assez proche de l'équateur céleste vu de notre planète, ce qui le rend visible de pratiquement partout dans les hémisphères Nord et Sud. Cela a maximisé le nombre de télescopes dans l'EHT qui pouvaient l'observer, augmentant ainsi la résolution de l'image finale.

Cette image a été capturée par FORS2 sur le Very Large Telescope de l'ESO dans le cadre du programme Cosmic Gems, une initiative de sensibilisation qui utilise les télescopes de l'ESO pour produire des images d'objets intéressants, intrigants ou visuellement intéressants à des fins éducatives et de sensibilisation. Le programme utilise le temps de télescope qui ne peut être utilisé pour des observations scientifiques et produit des images à couper le souffle de certains des objets les plus frappants dans le ciel nocturne. Au cas où les données recueillies pourraient être utiles à des fins scientifiques futures, ces observations sont sauvegardées et mises à la disposition des astronomes par le biais des archives scientifiques de l'ESO.



Sur cette image du ciel profond figure le vaste halo qui entoure la galaxie elliptique géante Messier 87.

Un excès de lumière dans l'angle supérieur droit de ce halo ainsi que le mouvement qui anime les nébuleuses planétaires de la galaxie constituent les derniers signes apparents d'une collision récente entre une galaxie de taille moyenne et Messier 87. Sur cette image figurent par ailleurs de nombreuses autres galaxies de l'amas de la Vierge, dont Messier 87 constitue la galaxie principale. En particulier, les deux galaxies situées dans l'angle supérieur droit ont été surnommées "Les Yeux".

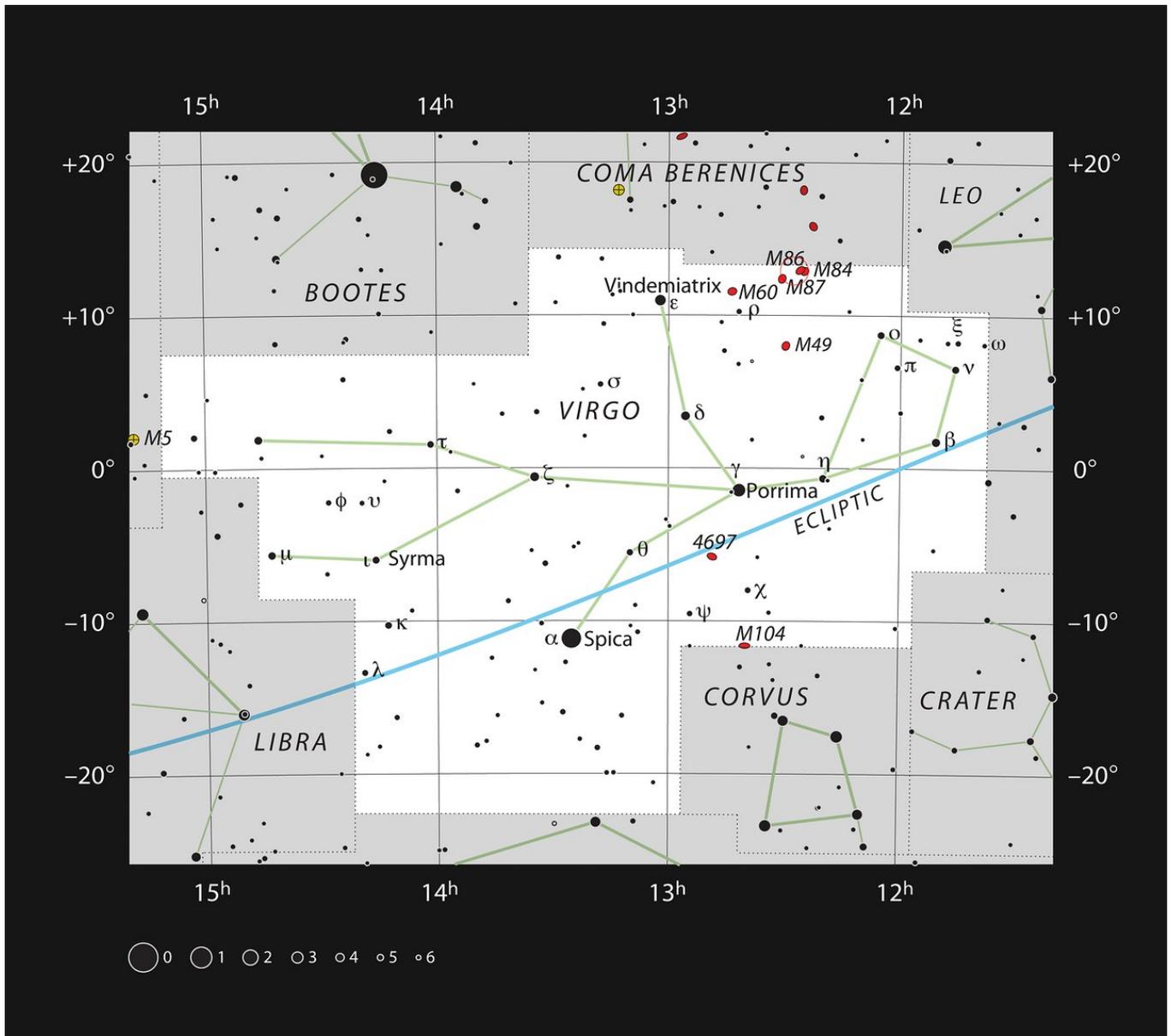
Crédit : Chris Mihos (Case Western Reserve University)/ESO



Le « Event Horizon Telescope » (EHT) – un réseau constitué de huit radiotélescopes répartis sur la surface de la planète créé dans le cadre d'une collaboration internationale – a été conçu pour capturer les images d'un trou noir. Les chercheurs de l'EHT révèlent, à l'occasion de conférences de presse coordonnées autour du globe, qu'ils sont parvenus à obtenir la toute première preuve visuelle d'un trou noir supermassif au centre de Messier 87 et de son ombre.

L'ombre d'un trou noir vue ici est la plus proche possible d'une image du trou noir lui-même, un objet complètement sombre duquel la lumière ne peut s'échapper. La limite du trou noir - l'horizon des événements qui a donné son nom à l'EHT - est environ 2,5 fois plus petite que l'ombre qu'il projette et mesure un peu moins de 40 milliards de km de diamètre. Bien que cela puisse paraître gros, cet anneau ne mesure qu'environ 40 micro-secondes d'arc, ce qui équivaut à mesurer la longueur d'une carte de crédit à la surface de la lune.

Bien que les télescopes qui composent l'EHT ne soient pas physiquement reliés entre eux, ils sont capables de synchroniser leurs données enregistrées grâce à des horloges atomiques - les masers à hydrogène - qui synchronisent précisément leurs observations. Ces observations ont été recueillies à une longueur d'onde de 1,3 mm lors d'une campagne mondiale en 2017. Chaque télescope de l'EHT a produit d'énormes quantités de données - environ 350 téraoctets par jour - qui ont été stockées dans des disques durs haute performance remplis d'hélium. Ces données ont été envoyées à des supercalculateurs hautement spécialisés - appelés corrélateurs - au Max Planck Institute for Radio Astronomy et au MIT Haystack Observatory pour être combinées. Elles ont ensuite été méticuleusement converties en une image à l'aide de nouveaux outils informatiques mis au point par la collaboration.



Ce graphe indique la position de la galaxie géante Messier 87 dans la constellation de la Vierge. La plupart des étoiles visibles à l'œil nu dans de bonnes conditions d'observation y figurent.
 Crédit : ESO, IAU and Sky & Telescope