

M 87, une galaxie elliptique géante

Introduction.

Observé dans un télescope, le 87eme objet du catalogue de Messier, n'apparait pas exceptionnel. C'est pourtant un des objets les plus intéressants de notre univers. C'est aussi un des plus impressionnants.



M87 dans un télescope de 400 mm

Histoire.

C'est le 18 mars 1781 que Messier découvre cet objet en même temps que 7 autres dans les constellations de la Vierge et de la Chevelure de Bérénice. Il les ajoute dans son catalogue entre les rangs 84 et 90.

M87 est donc le 87^e objet du catalogue Messier.

Elle sera cataloguée dans les années 1880, sous le numéro NGC 4486 dans New General Catalogue de l'astronome John Dreyer.

En 1918, l'astronome américain Heber Doust Curtis, avec la lunette de 91 cm de l'observatoire Lick observe l'absence de structures spirales dans M87 mais remarque « *un curieux rayon droit ... apparemment connecté au noyau par une fine ligne de matière* ». L'année suivante, une supernova apparut dans la nébuleuse mais ne fut identifiée qu'en 1922.



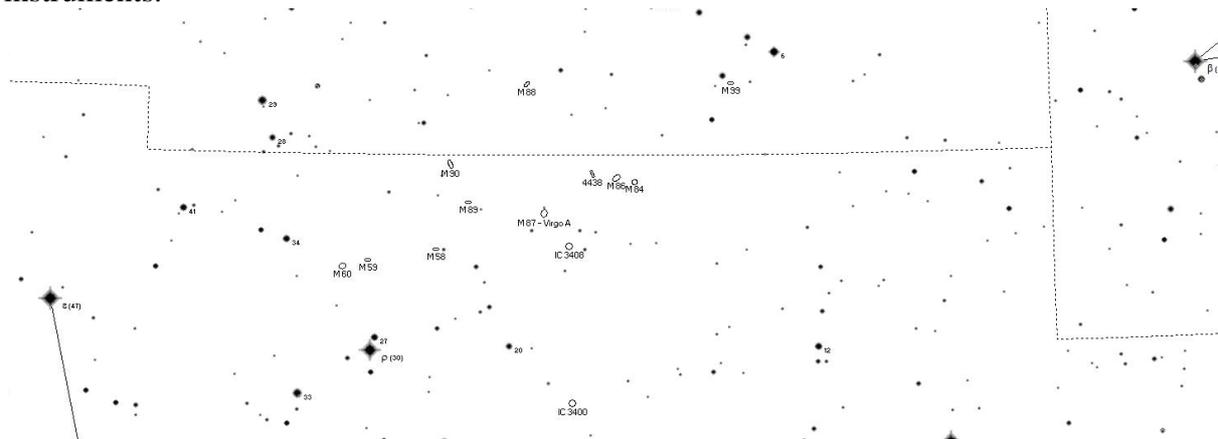
En 1926, Edwin Hubble l'intègre dans la famille des nébuleuses extragalactiques. M87 est alors cataloguée comme nébuleuse elliptique sphérique dans la classe E0. L'astronome la classe comme un membre de l'amas de la Vierge et lui attribue une distance de 6 millions d'années-lumière environ. En 1931, c'est encore la seule nébuleuse elliptique à être partiellement résolue en étoiles.

Ce n'est qu'en 1956 qu'elle sera officiellement reconnue comme une galaxie.

En 1947, avec l'essor de la radioastronomie, on découvre une importante source radio à l'emplacement de M87, Virgo A. En 1953, M87 sera confirmée comme étant la source du rayonnement radio et plus particulièrement le jet détecté en son centre. Elle sera cataloguée sous le numéro 3C 274 dans le catalogue de Cambridge, puis ARP 152 dans l'Atlas of Peculiar Galaxies d'Halton Arp.

L'observation.

M87 est au nord de la constellation de la Vierge, près de la Chevelure de Bérénice entre les étoiles δ Chevelure et ρ Vierge. De magnitude 8.6, M87 est facilement accessible aux petits instruments.



Dans une lunette de 60 mm, elle apparait comme un point nébuleux ressemblant à un amas globulaire non résolu. Au télescope de 200 mm, c'est une tache ronde nébuleuse brillante. On distingue facilement une autre petite galaxie semblable mais moins lumineuse à coté, NGC 4478.

A partir de 300 mm de diamètre, une seconde galaxie apparait non loin, NGC 4476. Des diamètres supérieurs n'apportent plus rien à l'observation. Il faut normalement 800 mm de diamètre pour pouvoir distinguer le jet lumineux se détachant du noyau, mais des astronomes amateurs américains ont pu le distinguer dans un télescope de 400 mm sous un très bon ciel.

Distance, dimensions, environnement et interactions au sein de l'amas de la Vierge.

M87 est classée de type E0p, ce qui veut dire que son aspect est sphérique, qu'elle ne montre pas d'aplatissement. Le p indique qu'elle possède une particularité, celle-ci étant la présence du jet rectiligne proche du noyau.

C'est une galaxie super géante avec un noyau entourée d'une enveloppe diffuse sans trace de poussière ou de gaz.

Sa forme elliptique quasiment sphérique est due aux trajectoires aléatoires des étoiles de la galaxie, au contraire de celles ordonnées qu'on trouve dans les galaxies spirales.

Sa distance a été mesurée par plusieurs méthodes. La mesure de la luminosité des nébuleuses planétaires, la comparaison de luminosité avec d'autres galaxies étalonés avec des céphéides, la distribution linéaire de la taille des amas globulaires, la mesure de la luminosité maximale en infra rouge des étoiles super géantes rouges ont permis de fixer la distance de M87 à environ 53.5 ± 1.5 millions d'années lumière.

Son enveloppe stellaire atteint un diamètre d'environ 978 000 années-lumière, ce qui est gigantesque quand on compare au diamètre de 150 000 années-lumière estimé du disque de notre galaxie.

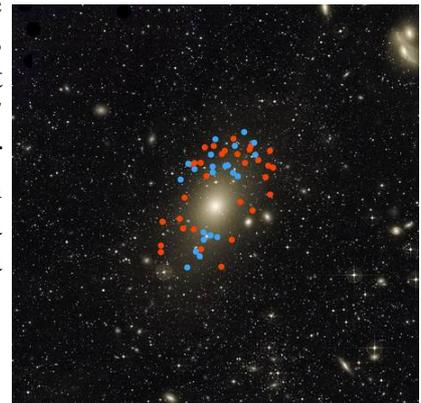
Le bord de la galaxie semble tronqué mais le phénomène à l'origine reste mal connu. Peut-être une rencontre avec M84 il y a 1 milliard d'années ?



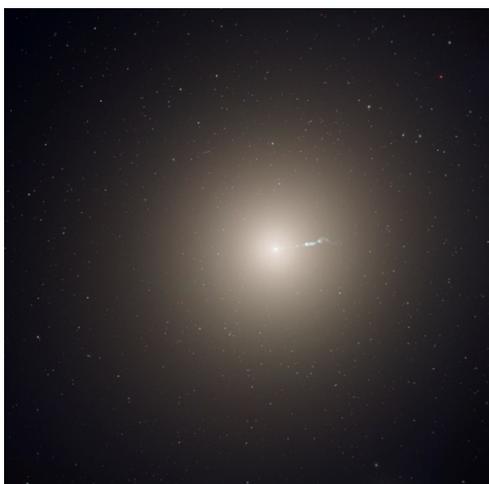
Des courants stellaires ont été découverts au nord-ouest de la galaxie ce qui traduit des effets de marées avec d'autres galaxies. Enfin, il a été établi en 2009 par des astronomes de l'ESO que M87 et une autre géante de l'amas de la Vierge, M86 se dirigent l'une vers l'autre et devraient entrer en collision dans les milliards d'années à venir.

M87 et ses grandes voisines M84 et M86

Les interactions sont donc importantes dans l'amas de la Vierge et M87 y tient une place prépondérante. C'est en effet la galaxie la plus massive de l'amas. Une équipe d'astronomes de l'institut Max Planck a démontré que M87 avait fusionné avec une galaxie spirale dans les derniers milliards d'années. C'est en observant la répartition et les mouvements des nébuleuses planétaires dans le halo de M87 que ces astronomes sont parvenus à cette conclusion. Leur dissémination dans le halo, qui traduit celle des étoiles en général, est 100 fois plus étendue que la galaxie originelle et la présence d'étoiles bleues, trop jeunes pour être de M87 a confirmé l'hypothèse de la fusion d'une galaxie spirale.



Position des nébuleuses planétaires étudiées dans M87



M87 possède une importante population d'amas globulaires. C'est la galaxie qui en a le plus. On compte plus de 12 000 amas globulaires en orbite autour de cette galaxie. A titre de comparaison, la Voie Lactée n'en compte que 200 environ recensés. Ces amas sont très semblables à ceux que nous connaissons.

M87 et son halo d'amas globulaires

Caractéristiques physiques de M87.

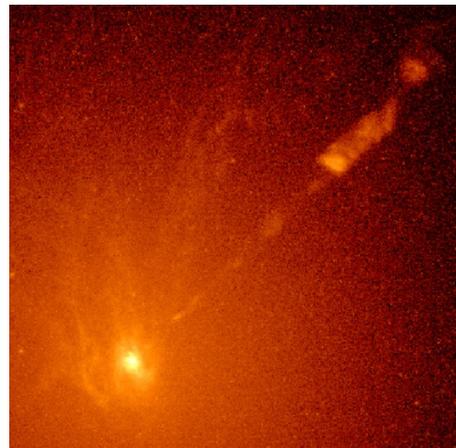
La masse de M87, calculée d'après les mouvements des étoiles qui la composent, est de l'ordre de 6000 milliards de masses solaires dans un rayon de 163 000 années-lumière. La masse totale de la galaxie avoisine 200 fois celle de la Voie Lactée soit approximativement 120 000 milliards de masses solaires.

Un sixième seulement de cette masse est sous forme d'étoiles lumineuses, le reste est un halo de matière sombre composé notamment de gaz diffus enrichi en éléments lourds produits par les étoiles et rejetés dans le milieu interstellaire lors de la phase de nébuleuse planétaire (carbone et azote) ou lors de l'explosion des étoiles en supernova (oxygène, fer) et d'une vaste couronne de gaz chaud et de faible densité s'étendant autour de la galaxie.

Dans un rayon de 13 000 années-lumière autour du noyau, l'abondance d'éléments lourds n'est que la moitié de celle qui est dans le Soleil et, à l'extérieur de ce rayon, elle diminue encore de façon constante. Cela laisse supposer que le milieu interstellaire ne s'enrichit plus et donc qu'il ne se crée plus de nouvelles étoiles depuis très longtemps.

On distingue en effet peu de poussières pouvant former des nébuleuses diffuses et de jeunes étoiles. La population stellaire est dominée par de vieilles étoiles qui contiennent peu d'éléments autres que l'Hydrogène et l'Hélium.

Toutefois, des filaments de matière ont été observés près du noyau. Leur masse a été estimée à 10 000 masses solaires.



Filaments de matière observés par le télescope Hubble

La masse totale de poussières dans M87 a été mesurée autour de 70 000 masses solaires. C'est peu pour une telle galaxie quand on la compare à la Voie Lactée qui en contient près de cent millions de masses solaires.

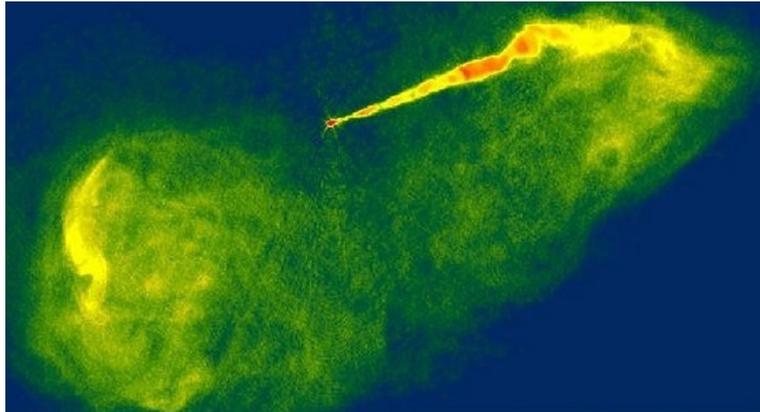
Dans une étude publiée en novembre 2015, des astronomes de l'université d'Harvard ont pu observer les pulsations d'étoiles de type solaire en fin de vie. Le rayonnement de ces étoiles, passées au stade de géante rouge, augmente et décroît de façon régulière. Il est difficile de percevoir ces pulsations à si grande distance, mais cela a été rendu possible grâce à des clichés pris par le télescope spatial Hubble. L'analyse de la périodicité et des variations d'éclats de ces étoiles a permis d'en déterminer l'âge et ainsi de fixer celui de M87 à une dizaine de milliards d'années.

Une galaxie active.

Outre sa masse colossale, ce qui caractérise M87 est la présence d'un jet de matière semblant être projeté depuis le centre de la galaxie vers l'extérieur. Il s'étend sur au moins 5000 années-lumière soit une distance angulaire de 20". Il est composé de plasma énergétique, c'est à dire d'électrons, de protons et de quelques noyaux atomiques.

Le jet est collimaté, c'est à dire qu'il est très étroit et dirigé dans une direction bien précise. Il ne s'écarte de cette direction que de quelques degrés seulement.

On a des preuves qu'un jet semblable existe à l'opposé mais il est totalement invisible. Seuls d'impressionnants lobes de matières trahissent l'existence de ce jet.

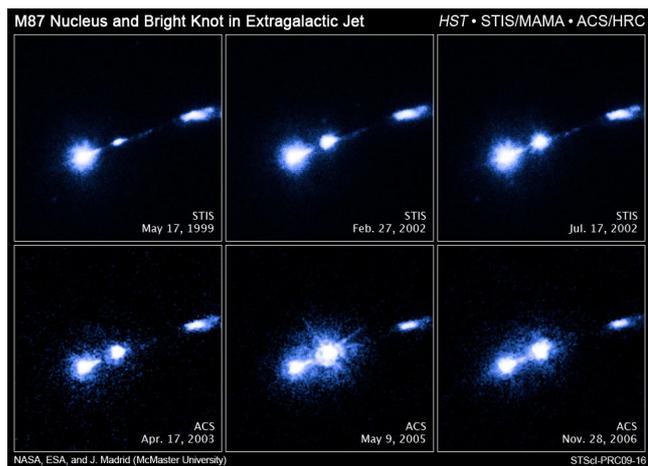


Le jet de M87 et les lobes de matière associés visibles en radio

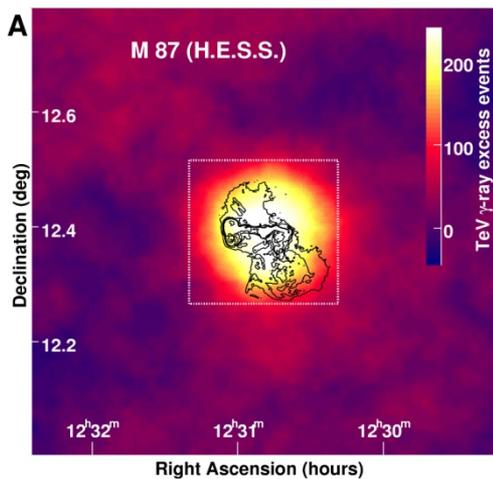
Issus des deux jets de plasma, des lobes de matière se projettent jusqu'à 250 000 années-lumière du centre de la galaxie donc bien en dehors.

Une découverte étonnante a été faite sur la base d'images prises par le télescope Hubble. La vitesse du jet semblait atteindre 4 fois la vitesse de la lumière, mais en fait cette mesure était faussée par la nature relativiste du jet et par l'angle de vue. Sa vitesse est très proche toutefois de la vitesse de la lumière. Le télescope spatial Hubble a pu photographier des mouvements à l'origine du jet sur une période de 13 ans.

Notamment, à environ 212 années-lumière du coeur de la galaxie, Hubble a pu suivre l'activité d'une bulle de matière qui a été nommée HST-1. En 2006, cette matière a vu son rayonnement X multiplié par 50. Cette intense émission a duré quatre ans avant de diminuer ensuite.



La lumière du jet est polarisée, ce qui signifie qu'elle est émise par des électrons qui se déplacent à une vitesse proche de celle de la lumière dans un champ magnétique. L'énergie dissipée par ces électrons est estimée à 5×10^{56} eV. L'intense rayonnement radio détecté provient essentiellement du jet.



M 87 est aussi une puissante source gamma. Au moyen du télescope H.E.S.S. (High Energy Stereoscopic System) en 2006, les astronomes ont pu mesurer ce rayonnement ainsi que de nombreuses variations très rapides de celui-ci de l'ordre de quelques jours.

Ces variations rapides sont le signe d'une intense activité située dans une très petite zone de la galaxie. Cette intense activité localisée au centre de la galaxie trahit l'existence d'un trou noir supermassif.

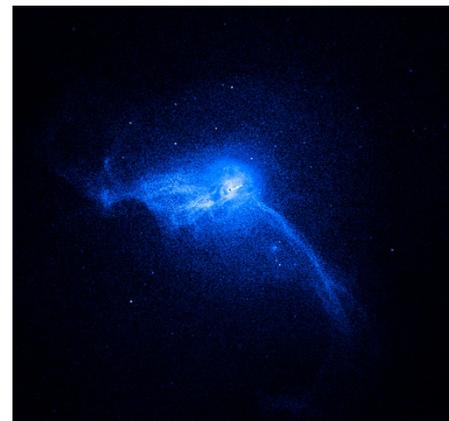
L'énergie colossale émise par la galaxie M87 s'explique par la présence au centre d'un trou noir supermassif. Sa masse a été estimée à 6.6 milliards de masses solaires ce qui lui donne un horizon plus grand que l'orbite de Neptune. C'est un des plus grands connus.

Autour de ce trou noir, un disque d'accrétion s'est formé et les jets s'en échappent perpendiculairement. On estime qu'une masse solaire de gaz s'engloutit en 10 ans dans le trou noir.

Etonnamment, le trou noir ne paraît pas être au centre exact de la galaxie mais à 81 années-lumière dans le sens opposé au jet. La raison est mal connue, c'est peut-être le jet qui aurait repoussé le trou noir ou peut-être la coalescence de deux trous noirs supermassifs.

M87 présente également un excès d'énergie dans l'infrarouge. Un tel excès est du habituellement au rayonnement thermique des poussières, mais dans le cas de M87, les poussières sont rares et c'est le rayonnement synchrotron du jet qui est à l'origine du rayonnement infrarouge de la galaxie.

Le télescope Chandra a particulièrement étudié les lobes de matières éjectés par la galaxie dans le prolongement des jets. Ces bulles de matières émettent fortement en rayonnement X. Des boucles et des anneaux de gaz créés par des ondes de choc dues à l'éjection de la matière dans les jets traversent ces lobes et entourent la galaxie. Les variations de densité rencontrées dans ces anneaux et ces bulles sont les traces d'éruptions dans l'environnement du trou noir central. En étudiant leur distribution, les astronomes ont ainsi découverts que des éruptions ont lieu tous les 6 millions d'années, Une importante éruption aurait aussi eu lieu il y a 70 millions d'années.



M87 par le satellite Chandra

Ces éruptions ont une conséquence majeure. Le gaz présent dans la galaxie ne peut pas se refroidir, se condenser et former de nouvelles étoiles. L'évolution de la galaxie est donc totalement arrêtée, ce qui l'a empêché de devenir une grande galaxie spirale.

Rouge et morte.

Cette phrase (red and dead) a été employée par l'astronome William Forman du Smithsonian Astrophysical Observatory de Cambridge, Massachusetts, pour décrire l'état anémique des grandes galaxies elliptiques telles que M87. Longtemps, son équipe et lui se sont posé cette question. Le télescope X Chandra a permis d'apporter quelques réponses.

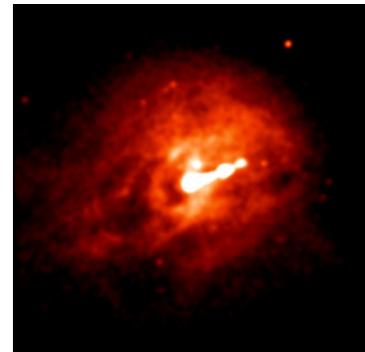
Ils ont constaté que, non seulement la galaxie M87 mais aussi une grande partie du centre de l'amas de la Vierge, ne produisait que le 10ème de ce qu'on aurait du trouver en jeunes étoiles, ce qui ne pouvait s'expliquer que par la présence d'un mécanisme de chauffage du gaz galactique et intergalactique. Grâce au satellite Chandra et aux études menées conjointement avec le VLA en rayonnement radio, les astronomes ont pu voir les effets de la chute de matière dans le trou noir central de M87. Seul un trou noir de cette taille peut libérer assez d'énergie pour chauffer périodiquement le gaz autour de la galaxie, l'empêchant ainsi de se refroidir et de se condenser et former de nouvelles générations d'étoiles.

Dans ce mécanisme de chauffage du gaz, l'énergie cinétique des particules éjectées dans les jets représente une part non négligeable.

Les bulles observées sont la trace d'ondes de choc colossales qui sont le résultat du transfert de cette énergie cinétique.

Le scénario s'établirait ainsi :

Lorsque de la matière chute sur le trou noir central, deux jets de particules quittent le trou noir dans deux directions opposées à des vitesses proches de celle de la lumière. Ces jets emportent le gaz chaud qui environne le trou noir, créant une cavité, une bulle qui s'expande dans le gaz environnant en lui transférant l'énergie du trou noir.



Bulles et ondes de choc au centre de M87

Cette énergie se convertit en chaleur. Simultanément, l'expansion de ces bulles crée des ondes de choc qui se transmettent à des vitesses supérieures à la vitesse du son, ce qui a pour conséquences de chauffer encore plus le gaz. Grâce au télescope Chandra, les astronomes ont vu de telles ondes de choc à 42000 années-lumière du centre de M87.

Ils ont ensuite pu déterminer que la bulle de matière qui en est à l'origine a été émise voilà 10 millions d'années et que cette explosion a duré 2 millions d'années. Les observations ont même pu montrer qu'en ce moment, on peut assister à une nouvelle explosion.

C'est ainsi que le trou noir entretient le chauffage du gaz galactique, rendant quasiment impossible la naissance de nouvelles étoiles.

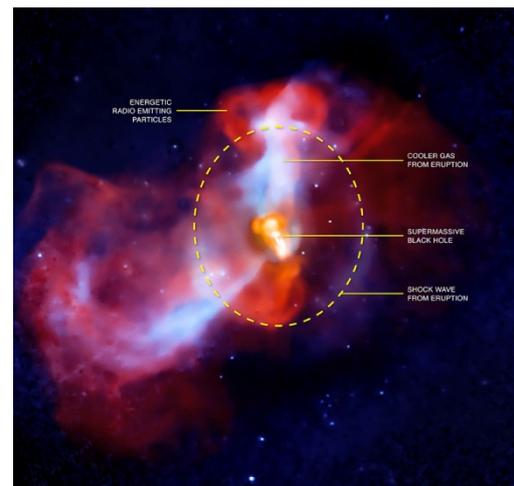


Image composite rayons X (Chandra) et radio (VLA)

L'étude de cette grande galaxie n'a pas fini détonner. Elle est le prototype des grandes galaxies actives et justifie toutes les études menées. Dernièrement, la découverte d'un amas globulaire filant à plus de 800 km/s vers l'extérieur de la galaxie a relancé le débat sur la possibilité qu'il y ait deux trous noirs au centre de la galaxie. Cela serait possible car on sait que M87 a fusionné avec une galaxie spirale il y a quelques milliards d'années. Les astronomes ont encore beaucoup de choses à découvrir sur cette galaxie.

M 87, NGC 4486, 3C 274, ARP 152

Constellation de la Vierge (Virgo)

Ascension droite	: 12h 30m 49.42
Déclinaison	: +12° 23' 28''
Distance	: 53.5 ± 1.5 Mal
Magnitude	: 8.6
Magnitude absolue	: -22
Diamètre	: 978 000 Al
Masse	: 120 x 10 ¹² <u>M_☉</u>