

# LES TROUS NOIRS

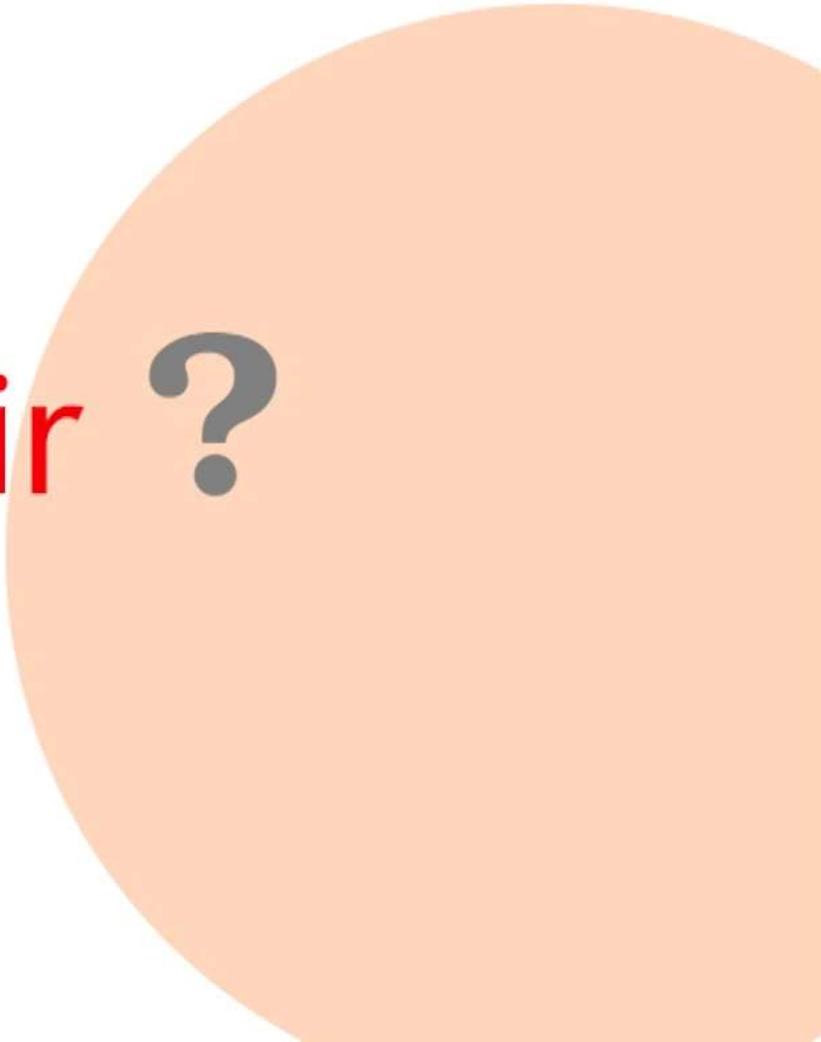
EN ASTROPHYSIQUE, UN **TROU NOIR** EST UN OBJET CÉLESTE DONT LE CHAMP GRAVITATIONNEL EST SI INTENSE QU'IL EMPÊCHE TOUTE FORME DE MATIÈRE OU DE RAYONNEMENT DE S'EN ÉCHAPPER (À L'EXCEPTION NOTABLE DE LA RADIATION DE HAWKING). DE TELS OBJETS N'ÉMETTENT DONC PAS DE LUMIÈRE ET ÉTAIENT ALORS PERÇUS COMME ÉTANT NOIRS.

ASTROCLUB ORION



Sanary-sur-Mer

● QU'est-ce  
qu'un trou noir ?



## Historique

- Le concept de trou noir a émergé à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle dans le cadre de la gravitation universelle d'Isaac Newton. La question était de savoir s'il existait des objets dont la masse était suffisamment grande pour que leur vitesse de libération soit plus grande que la vitesse de la lumière.

Lorsqu'une étoile massive arrive en fin de vie, elle s'effondre sur elle-même. La gravité à sa surface augmente fortement et il est de plus en plus difficile de lui échapper. La vitesse de libération de l'étoile devient donc de plus en plus grande.

- Mais cela continue-t-il indéfiniment ? C'est la question que Pierre Simon de Laplace fut le premier à considérer, à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle. Que se passe-t-il si la vitesse de libération d'un corps est si grande qu'elle atteint celle de la lumière ?

Puis pendant 2 siècles on ne parle plus de cela...

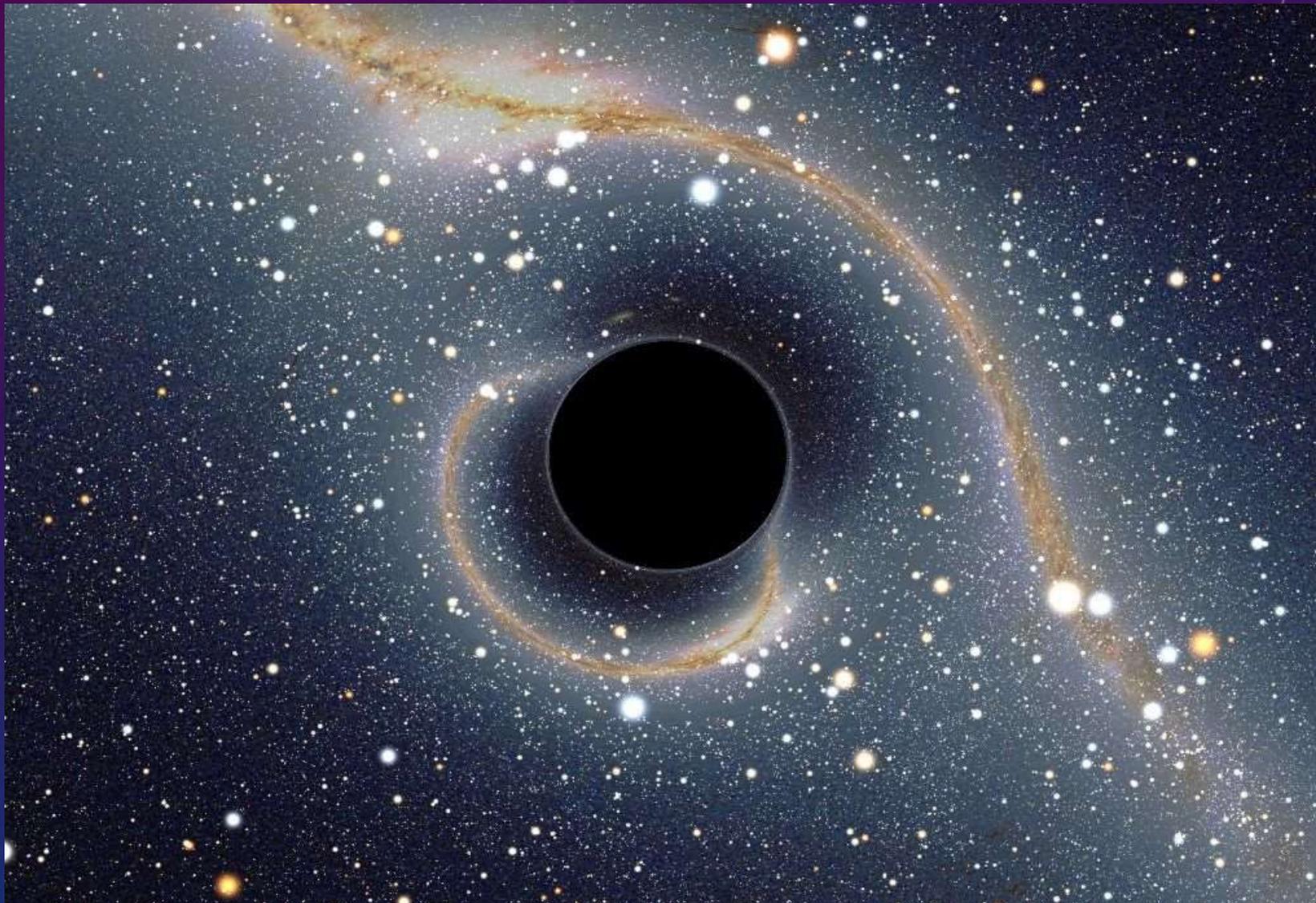
- Cependant, au début du XX<sup>e</sup> siècle et avec l'avènement de la relativité générale **d'Albert Einstein** le concept de trou noir devient plus qu'une curiosité. En effet, peu après la publication des travaux d'Einstein, une solution de l'équation d'Einstein impliquant l'existence d'un trou noir central est publiée par **Karl Schwarzschild**.

- Les travaux fondamentaux sur les trous noirs remontent aux années 1960, précédant de peu les premières indications observationnelles solides en faveur de leur existence. **La première « observation » d'un objet contenant un trou noir fut celle de la source de rayons X Cygnus X-1 par le satellite Uhuru en 1971.**



Par ESA — European Homepage for the NASA/ESA Hubble Space Telescope: [1], Copyrighted free use,

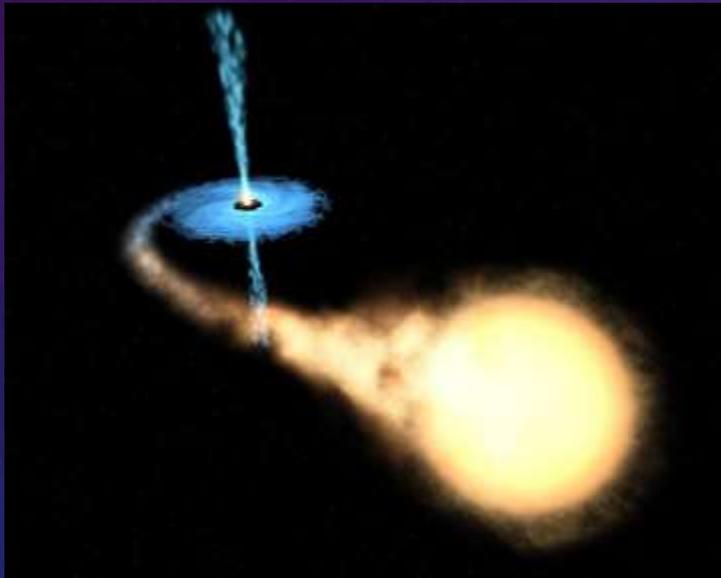
Le terme « **trou noir** » a été inventé par le physicien américain **John Wheeler** en **1967**, pour décrire une concentration de masse-énergie si compacte que même les photons ne peuvent se soustraire à sa force gravitationnelle.



La voûte céleste telle que la verrait un observateur situé près d'un hypothétique trou noir devant le centre de notre galaxie.

## Comment repérer un trou noir ?

- On peut voir un disque de matière éclairée tournant autour d'un point noir  
En tournant et en aspirant des étoiles, le trou noir émet des jets de matière le long de son axe de rotation.
- Un trou noir émet des rayons X.



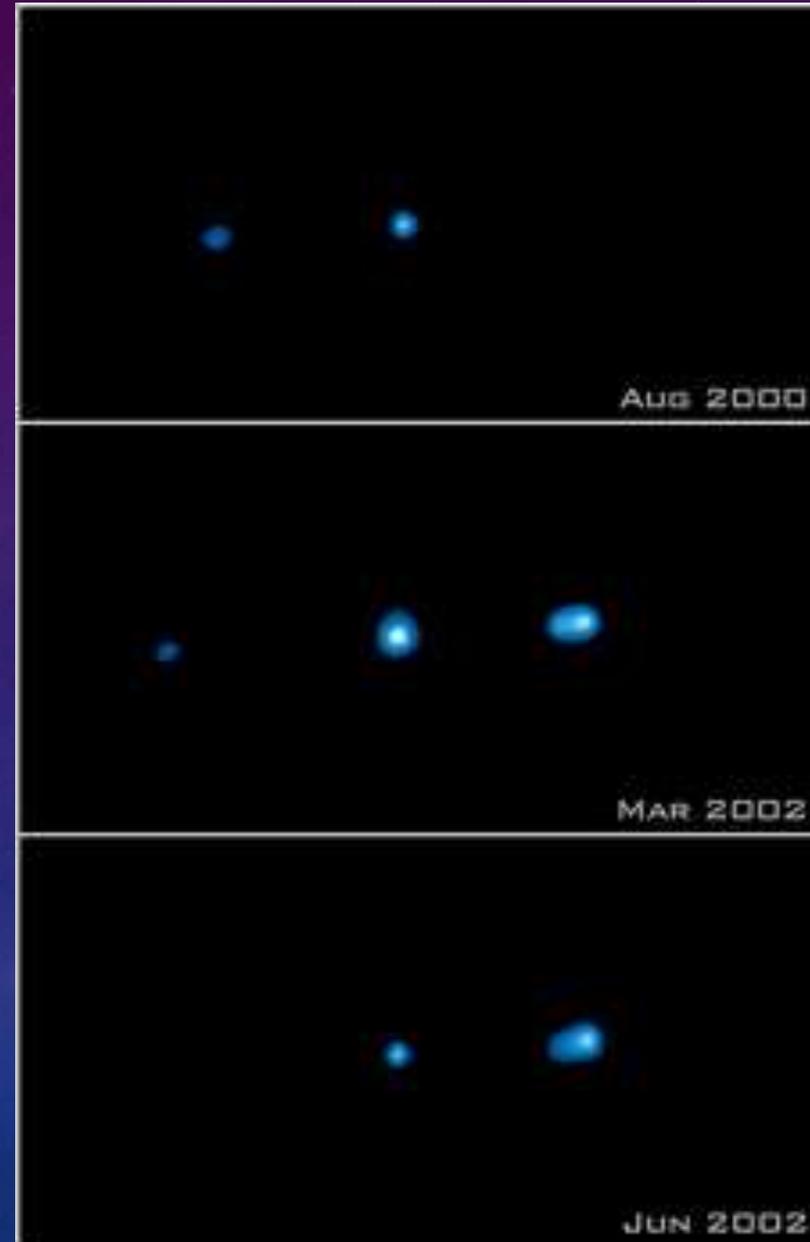
*Le trou noir présumé Cygnus X-1 observé en 2002 dans les rayons X par le satellite européen Integral. Cygnus X-1 semble très isolé sur cette image car les étoiles proches sont toutes normales et n'émettent pas dans ce domaine de longueur d'onde. Cygnus X-1 n'est pas un corps isolé mais fait partie d'un système double avec une supergéante bleue appelée HDE 226868. C'est le gaz arraché de cette supergéante qui émet des rayons X en allant se perdre dans le trou noir*

Les trous noirs sont parmi les objets les plus opaques de l'univers. Heureusement, ils sont cependant parmi les plus attractifs.



A la recherche de l'invisible !

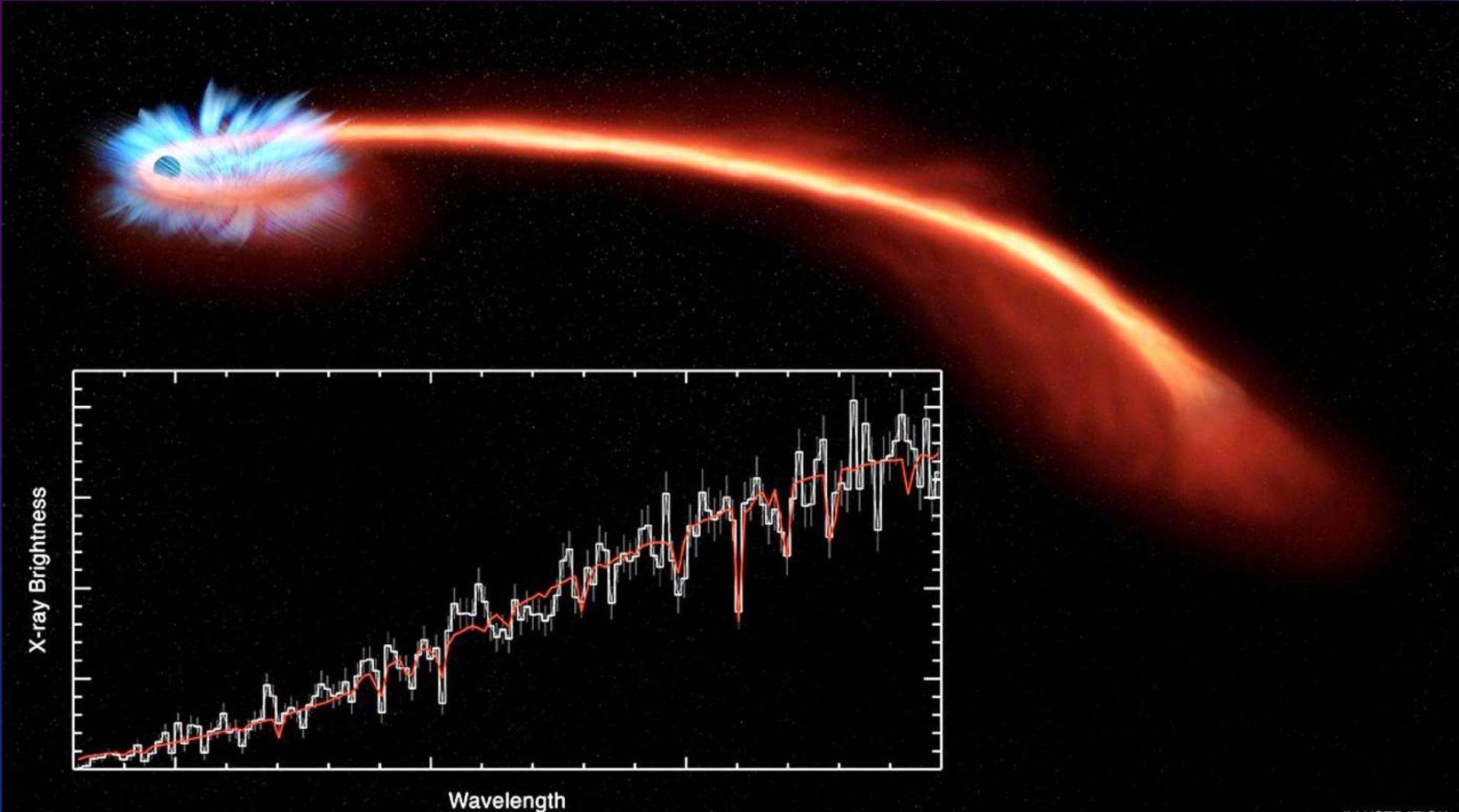
**Le trou noir XTE J1550-564 observé par l'observatoire dans les rayons X Chandra.** Ce trou noir fait partie d'un système binaire et sa compagne, une étoile ordinaire, perd peu à peu son gaz qui vient former un disque autour du trou noir. Ce gaz est chauffé par friction, atteint des températures de plusieurs millions de degrés et va périodiquement émettre des jets de particules très énergétiques perpendiculairement au disque. Ces trois images prises en août 2000, mars et juin 2002 montrent le trou noir au centre et deux jets de particules qui s'éloignent à la moitié de la vitesse de la lumière. Crédit : NASA/CXC/M.Weiss





## On a vu la naissance du disque d'accrétion d'un trou noir galactique

le 22 novembre 2014, les observatoires ont observé une étrange source de lumière qui est la partie visible de la destruction d'une étoile par les forces de marée d'un trou noir supermassif dont elle s'est approchée de trop près. L'événement s'est produit dans la galaxie PGC 043234 située à environ 290 millions d'années-lumière de la Voie lactée, en direction de la constellation de la Chevelure de Bérénice.



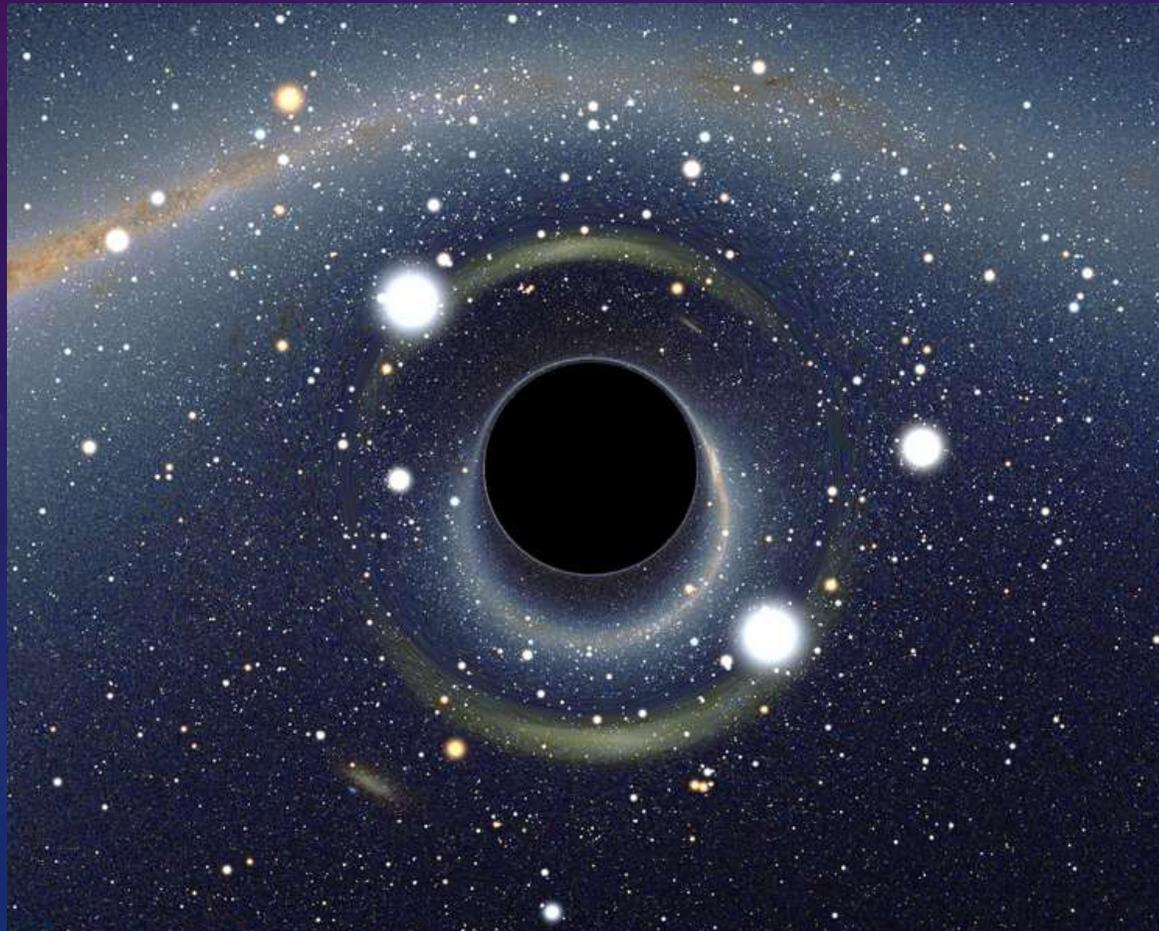
Depuis quelque temps, un interféromètre nous permet de « voir » des phénomènes astronomiques très puissants.



Les ondes gravitationnelles générées par l'union de ces deux trous noirs ont été vues par LIGO. Une nouvelle théorie prend forme, du fait de la présence de ces trous noirs primordiaux, qui pourraient être en fait la matière noire...

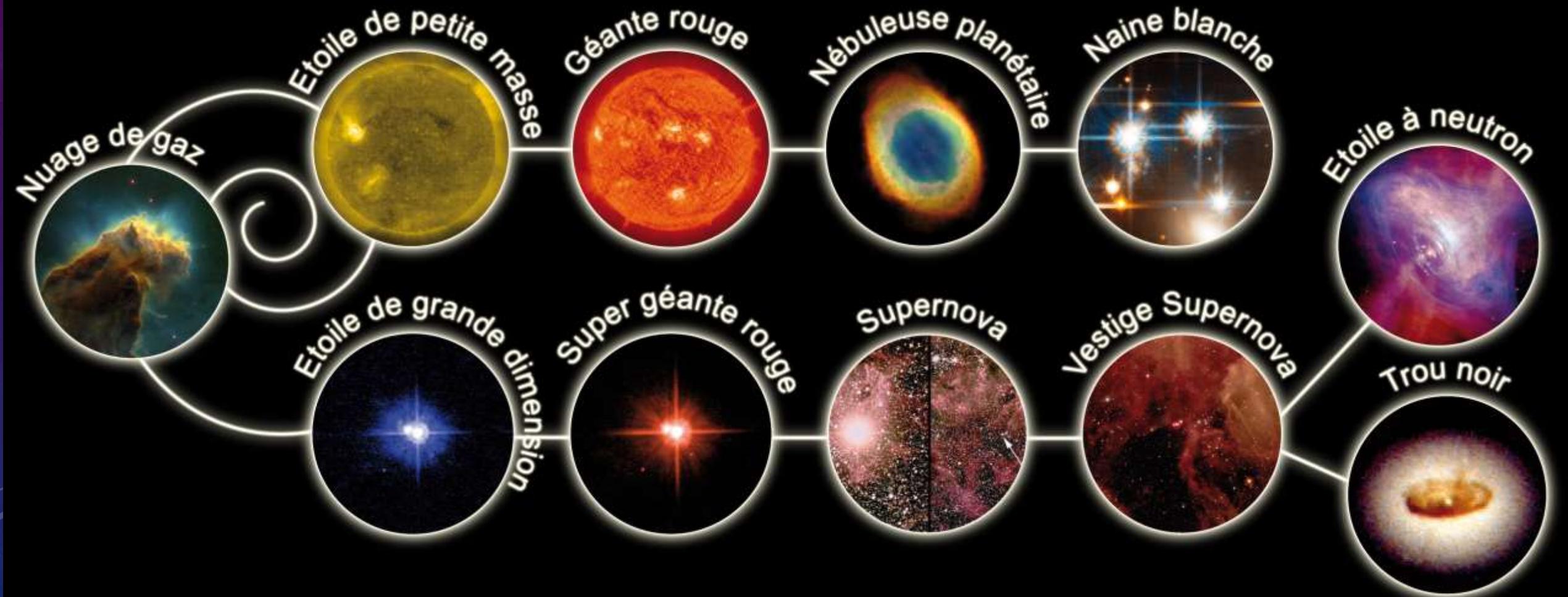
## Formation

La possibilité de l'existence des trous noirs n'est pas une conséquence exclusive de la relativité générale : la quasi-totalité des autres théories de la gravitation physiquement réalistes permet également leur existence. Par exemple, si l'on compressait le Soleil dans une sphère d'environ trois kilomètres de rayon (soit à peu près quatre millièmes de sa taille), il deviendrait un trou noir. Si la Terre était compressée dans un volume de quelques millimètres cube, elle deviendrait également un trou noir.



# Trous noirs stellaires

Ils naissent à la suite de l'effondrement gravitationnel du résidu des étoiles massives (environ dix masses solaires et plus, initialement). En effet, lorsque la combustion par les réactions thermonucléaires dans le cœur de l'étoile massive se termine, faute de carburant, une supernova se produit. Cette dernière peut laisser derrière elle un cœur qui continue à s'effondrer rapidement.



## Trous noirs supermassifs

Les trous noirs super-massifs ont une masse comprise entre quelques millions et quelques milliards de masses solaires. Ils se trouvent au centre des galaxies et leur présence provoque parfois l'apparition de jets et du rayonnement X. Les noyaux de galaxies qui sont ainsi plus lumineux qu'une simple superposition d'étoiles sont alors appelés noyaux actifs de galaxies.



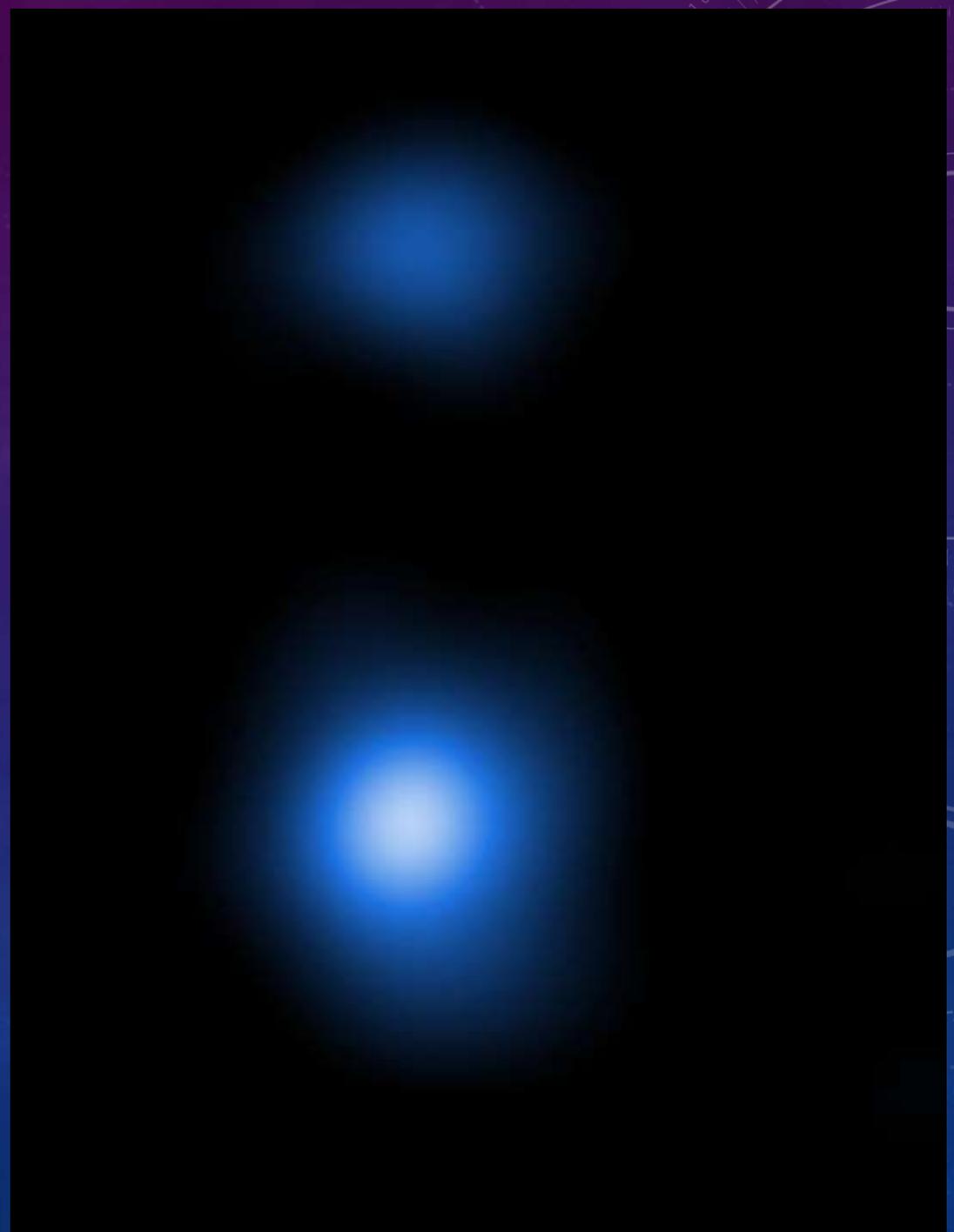
Jet émis depuis le centre de la Galaxie M87

On pensait qu'ils étaient né à partir d'un trou noir stellaire et avec l'ingestion d'étoiles ou de collision successives, ils avaient grossi. Mais pour certains ils auraient dû faire cela trop vite. D'où l'idée d'une « graine » initiale...



Ceux qui deviennent supermassifs si tôt seraient le produit d'une graine initiale donc il seraient gros dès le départ.

**Le profil du nuage de gaz OBJ29323 détecté par Chandra dans le rayonnement X correspond à celui d'une « graine de trou noir supermassif », comme cela est prévu par les modèles. © Nasa, CXC, Scuola Normale Superiore, Pacucci**



## Propriétés

Les trous noirs sont étonnants en ce qu'ils sont décrits par un très petit nombre de paramètres.

En effet, leur description, dans l'univers dans lequel nous vivons, ne dépend que de trois paramètres : **la masse (M), la charge électrique (Q) et le moment cinétique (J)**. Tout le reste dépend de ces trois paramètres.

Le trou noir possède un champ gravitationnel proportionnel à sa masse et un champ électrique proportionnel à sa charge.

L'influence du moment cinétique est spécifique à la relativité générale. Celle-ci stipule en effet qu'un corps en rotation va avoir tendance à « entraîner » l'espace-temps dans son voisinage.

La masse d'un trou noir galactique correspond en général à environ un millième de la masse de la matière présente dans le bulbe central.

La masse d'un trou noir n'est jamais nulle, mais la charge électrique et le moment cinétique peuvent l'être, il existe de ce fait plusieurs types de trous noirs.

Les quatre types théoriques de trous noirs en fonction du moment cinétique (J) et de la charge électrique (Q). La masse (M) est toujours strictement positive.

	M > 0	
	J = 0	J ≠ 0
Q = 0	Schwarzschild	Kerr
Q ≠ 0	Reissner-Nordström	Kerr-Newman

Un trou noir de **Reissner-Nordström** est un objet théorique très improbable dans la nature car aucun processus connu ne permet de fabriquer un objet compact conservant durablement une charge électrique significative.

Deux autres données liées à la masse peuvent aider à définir un trou noir ce sont son horizon (zone qui délimite la région d'où lumière et matière ne peuvent s'échapper) et son ISCO (dernière orbite stable)

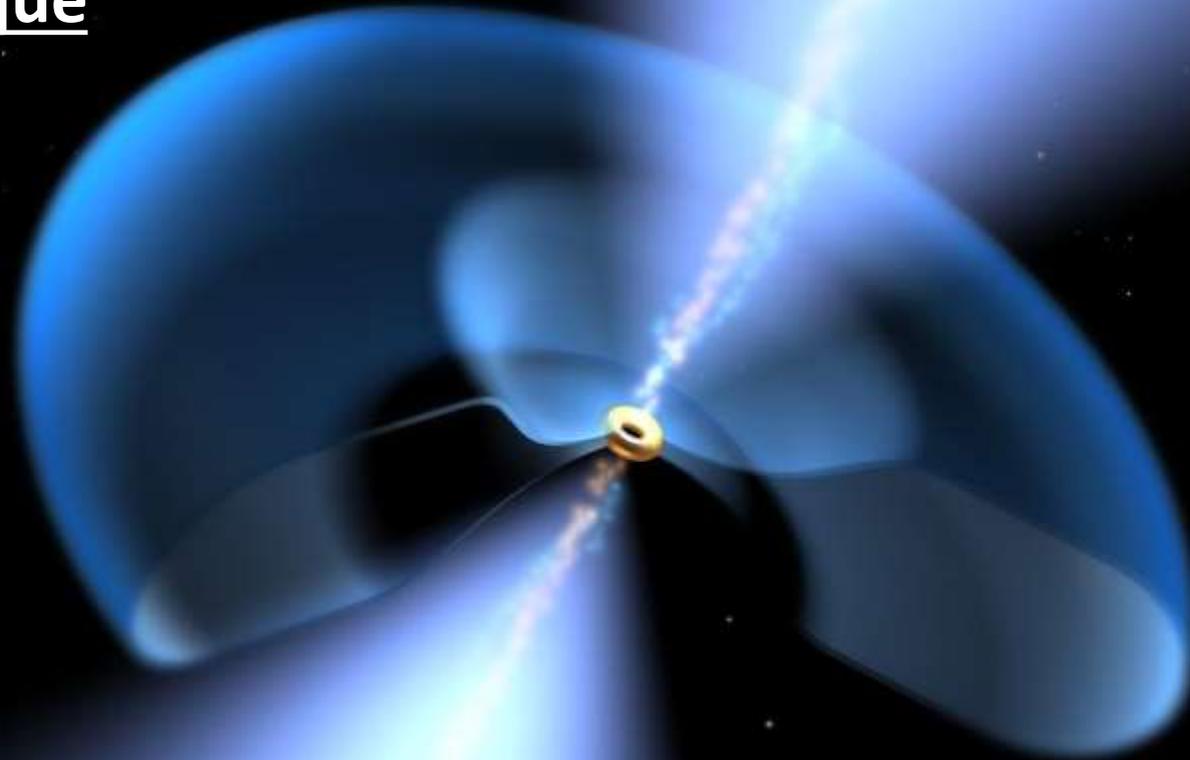


## Sgr A\* : nouveau record de luminosité X pour notre trou noir supermassif

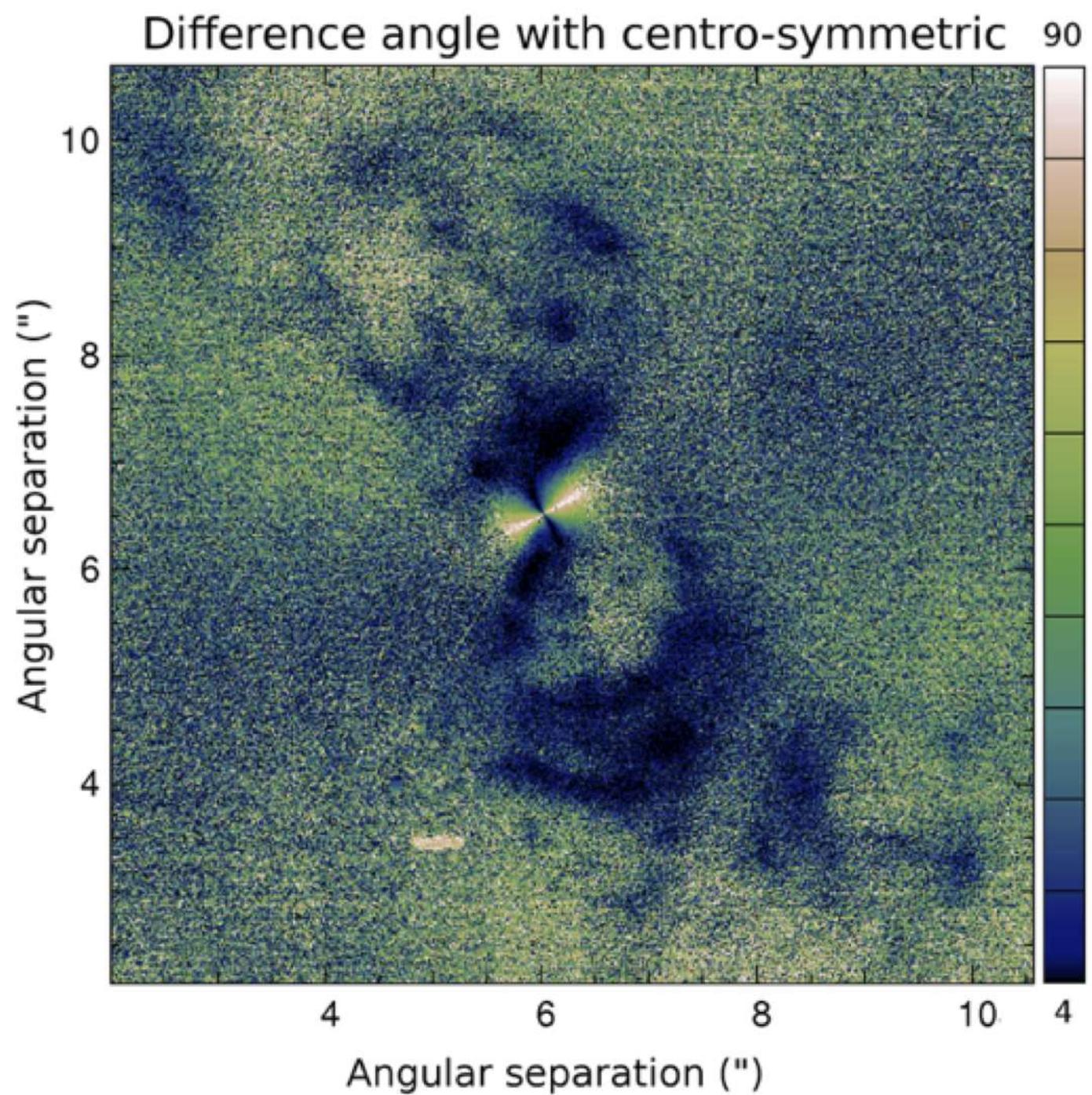
Observé fréquemment dans le domaine des rayons X par le télescope Chandra, il a battu son propre record de luminosité le 14 septembre 2013, peut-être en détruisant et avalant un astéroïde ou un effet du magnétisme. Un flash transitoire 400 fois plus lumineux que ne l'est ordinairement le trou noir et trois fois plus brillant que celui observé en 2012 qui constituait le précédent record de luminosité. Il y en a eu un autre le 20 octobre 2014.



On a enfin vu le tore de  
poussières autour d'un trou  
noir galactique



Grâce aux capacités d'observation inédites de l'instrument européen Sphere, récemment installé sur le grand télescope VLT (en mai 2015), une équipe de chercheurs français a, pour la première fois, observé directement la signature d'un tore de poussières au cœur de la galaxie active NGC 1068.



## Propositions alternatives aux trous noirs

La démonstration de l'existence des trous noirs stellaires s'appuie sur l'existence d'une limite supérieure pour la masse des étoiles à neutrons. La valeur de cette limite dépend fortement des hypothèses faites concernant les propriétés de la matière dense. La découverte de nouvelles phases exotiques de la matière pourrait repousser cette limite

**5 alternatives qui défient  
notre conception de l'Univers**

# Bibliographie

Wikipedia, Futura, Ciel et Espace, Ça se passe là-haut

Peut-on sortir d'un trou noir : <https://www.youtube.com/watch?v=FtAHJbU88EE>

Les trous noirs en 10 minutes : <https://www.youtube.com/watch?v=X1M5VaL3bcY>

La voie lactée et son immense trou noir | Documentaire Astronomie HD :  
[https://www.youtube.com/watch?v=j\\_uSiBpbKCg](https://www.youtube.com/watch?v=j_uSiBpbKCg)

Les Trous noirs | ScienceClic : <https://www.youtube.com/watch?v=H5Mpw4oSojw>

Un trou noir qui détruit une étoile : <https://www.youtube.com/watch?v=V9tV-hOrNic>

Trou Noir : 5 Alternatives Qui Défient Notre Compréhension de l'Univers :  
<https://www.youtube.com/watch?v=USEIa5visGk>

KEZAKO: Qu'est ce qu'un trou noir? : <https://www.youtube.com/watch?v=fW1WlUbycn8>

Voici un petit film explicatif et humoristique sur les ondes gravitationnelles :  
<https://www.youtube.com/watch?v=gPs77wnsxiw>