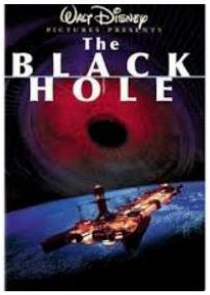
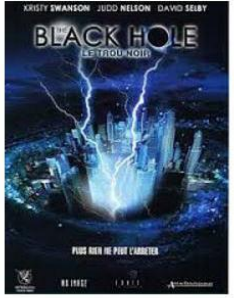
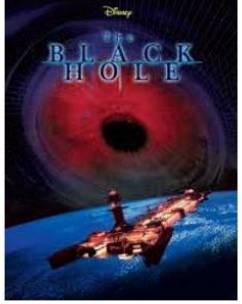
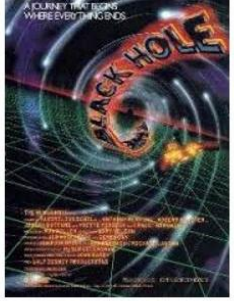
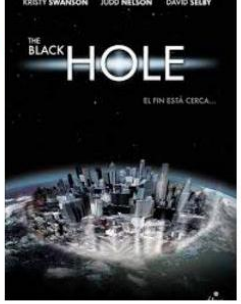
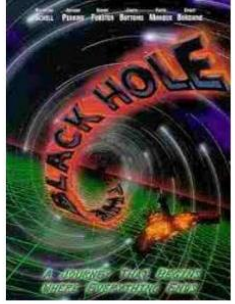
LES TROUS NOIRS SUPER MASSIFS

ROBERT SAINT-JEAN

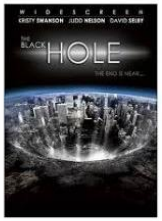
AVRIL 2017

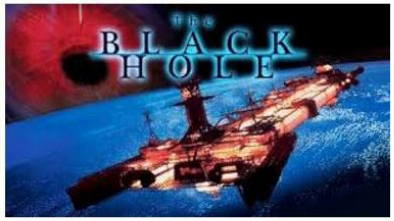
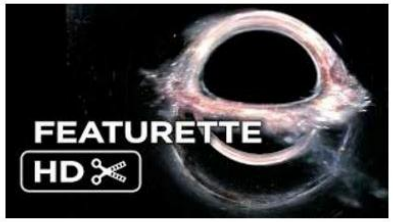
https://www.nasa.gov/sites/default/files/images/729665main_A-BlackHoleArt-pia16695_full.jpg

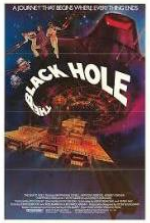

Walt Disney
PICTURES PRESENTS
The
BLACK
HOLE

KRISTY SWANSON JUDD NELSON DAVID SELBY
BLACK HOLE
LE TROU NOIR
RIEN NE PEUT L'ARRÊTER

Disney
BLACK
HOLE

A JOURNEY THAT BEGINS
WHERE EVERYTHING ENDS
BLACK HOLE

KRISTY SWANSON JUDD NELSON DAVID SELBY
THE
BLACK
HOLE
EL FIN ESTÁ CERCA...

BLACK HOLE

WALT DISNEY STUDIOS
BLACK HOLE
V.I.N.CENT.

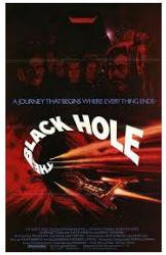
BLACK HOLE

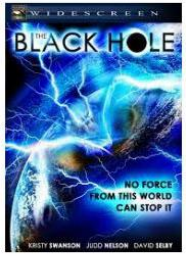
CAIN MALCOLM MCDOWELL UZIE
THE
BLACK HOLE

WIDESCREEN
KRISTY SWANSON JUDD NELSON DAVID SELBY
THE
BLACK
HOLE


THE
BLACK
HOLE

FEATURETTE
HD

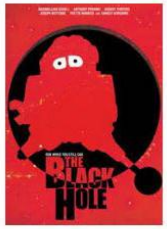

A JOURNEY THAT BEGINS WHERE EVERYTHING ENDS
BLACK HOLE

BLACK HOLE

A JOURNEY THAT BEGINS WHERE EVERYTHING ENDS
THE
BLACK
HOLE

A JOURNEY THAT BEGINS WHERE EVERYTHING ENDS
BLACK HOLE

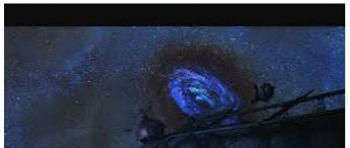
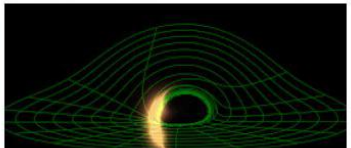

WIDESCREEN
THE
BLACK HOLE
NO FORCE
FROM THIS WORLD
CAN STOP IT
KRISTY SWANSON JUDD NELSON DAVID SELBY

BLACK
HOLE


THE
BLACK
HOLE

WALT DISNEY PRODUCTIONS
THE
BLACK
HOLE
SEE
HEAR
READ

MAXIMILLIAN

ANATOMY OF BLACK HOLES: Star-sized and supermassive

ANATOMIE DES TROUS NOIRS Stellaires et super massifs

La sphère de photons

Right outside the event horizon, supermassive and stellar-mass black holes' gravities are strong enough that photons — which normally travel straight paths — get stuck in circular orbits. They outline the shape of a black hole. Astronomers are hoping to synthesize a telescope big enough to detect this ring around the Milky Way's supermassive black hole and see the "shadow."

Jets relativistes

Both supermassive and stellar-mass black holes channel incoming material into near-light-speed jets emanating from their poles. These jets emit radio waves and X-rays and can extend hundreds of thousands of light-years (in the supermassive case) into space. Astronomers are still working to understand how these jets function.

Horizon d'événements

Beyond this boundary, not even light can escape a black hole's gravitational grasp. The distance from the black hole's center to the edge of the event horizon is called the Schwarzschild radius, and this border marks the "black" part of the black hole. For a supermassive black hole, the radius is solar-system sized. If you crossed the event horizon, you wouldn't know it for a while because the average density inside the sphere is similar to that of water, and you would not be uncomfortably stretched right away. For a stellar-mass black hole, the radius is just tens of miles. If you approached this boundary feet-first, you'd be "spaghettified" — pulled into a long, thin shape — by the black hole's tidal forces, stronger at your feet than at your head.

Orbite interne stable

For both supermassive and stellar-mass black holes, this is the inner edge of the accretion disk — the last place where material can orbit safely without the risk of falling in past the event horizon.

Disque d'accrétion

If material falls toward a black hole, it forms an accretion disk of matter swirling toward the event horizon in the same way that water swirls down a bathtub drain. For stellar-mass black holes, the material usually comes from a binary companion star. Supermassive black holes, however, may have stables of orbiting stars and abundant gas clouds from which they can strip material. As the material loses energy, it spirals inward and may fall past the event horizon.

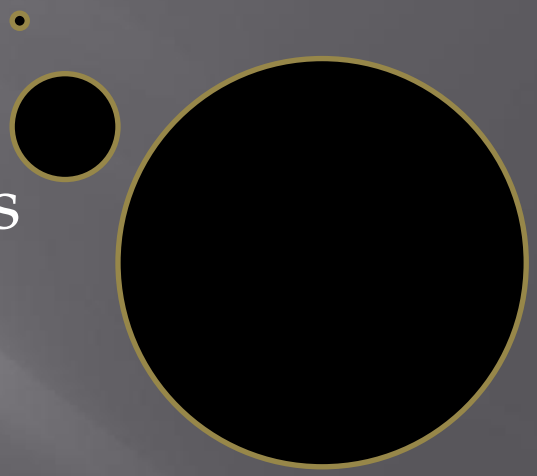
Singularité

The "point" at which all of the matter and energy that fall into the black hole ends up. Here, the curvature of space-time is infinite. Theoretically, this point takes up no space but has anywhere from a few to billions of times the Sun's mass, giving it an infinite density in the cases of both stellar-mass and supermassive black holes.

ATTENBOROUGH/ESA

4 types de trous noirs

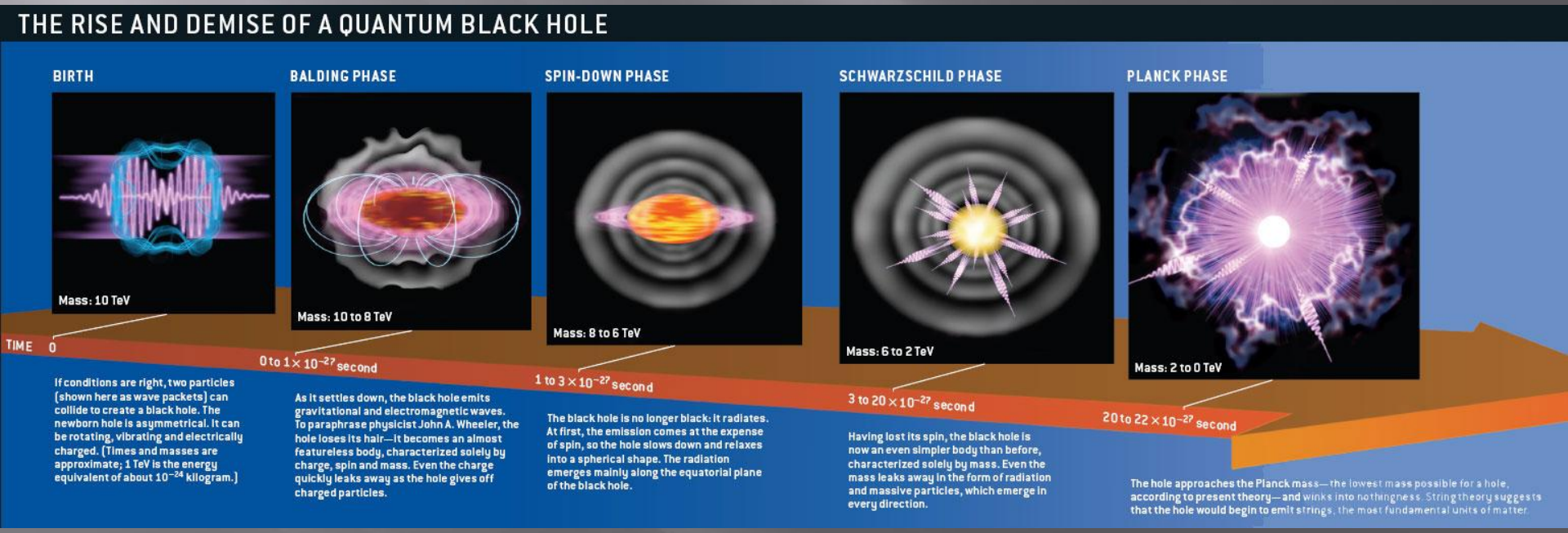
1. Les mini trous noirs
2. Les trous noirs stellaires
3. Les trous noirs intermédiaires
4. Les trous noirs super massifs



Voici les différences…

Les mini TN

- Ou micro trous noirs (10^{-5} g < M < 10^{15} g)
- Par condensation gravitationnelle lors du Big Bang (?)
- Dans les accélérateurs de particules (?)
- Durée de vie très courte (par évaporation quantique)
  - Hypothèse de Stephen Hawking et Bernard Carr
  - Un TN d'une tonne s'évapore en 10^{-10} s, un TN de 10^{6} tonnes s'évapore en 3 ans.



© 2017 Scientific American, a division of Nature America, Inc. All Rights Reserved. Scientific American is a trademark of Scientific American, Inc., used with permission.

TN stellaires

- ~ 4 - 30 $M_\odot$
- À la fin de sa vie, l'étoile massive s'effondre sur elle-même en produisant une supernova.
- Le cœur résiduel est un TN stellaire

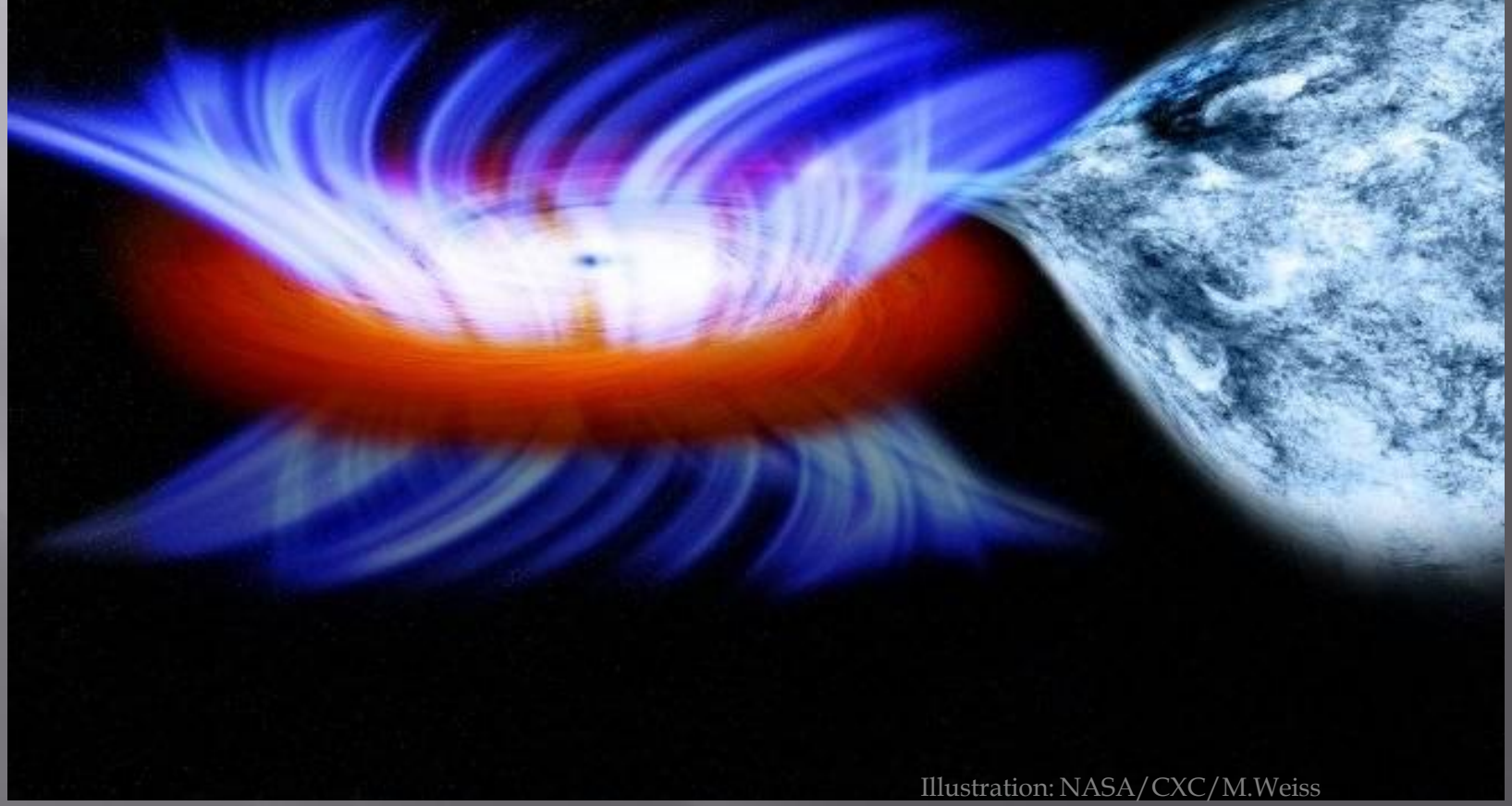


Illustration: NASA/CXC/M.Weiss

TN intermédiaires

- ~100 – 10 000 $M_\odot$
- Trop massif pour être produits par effondrement stellaire unique
- Peuvent être produits par accrétion de TN stellaires
- Ne se trouvent pas dans des environnements extrêmes (cœur de galaxies, vitesse élevée, etc.)
- Sont relativement rares

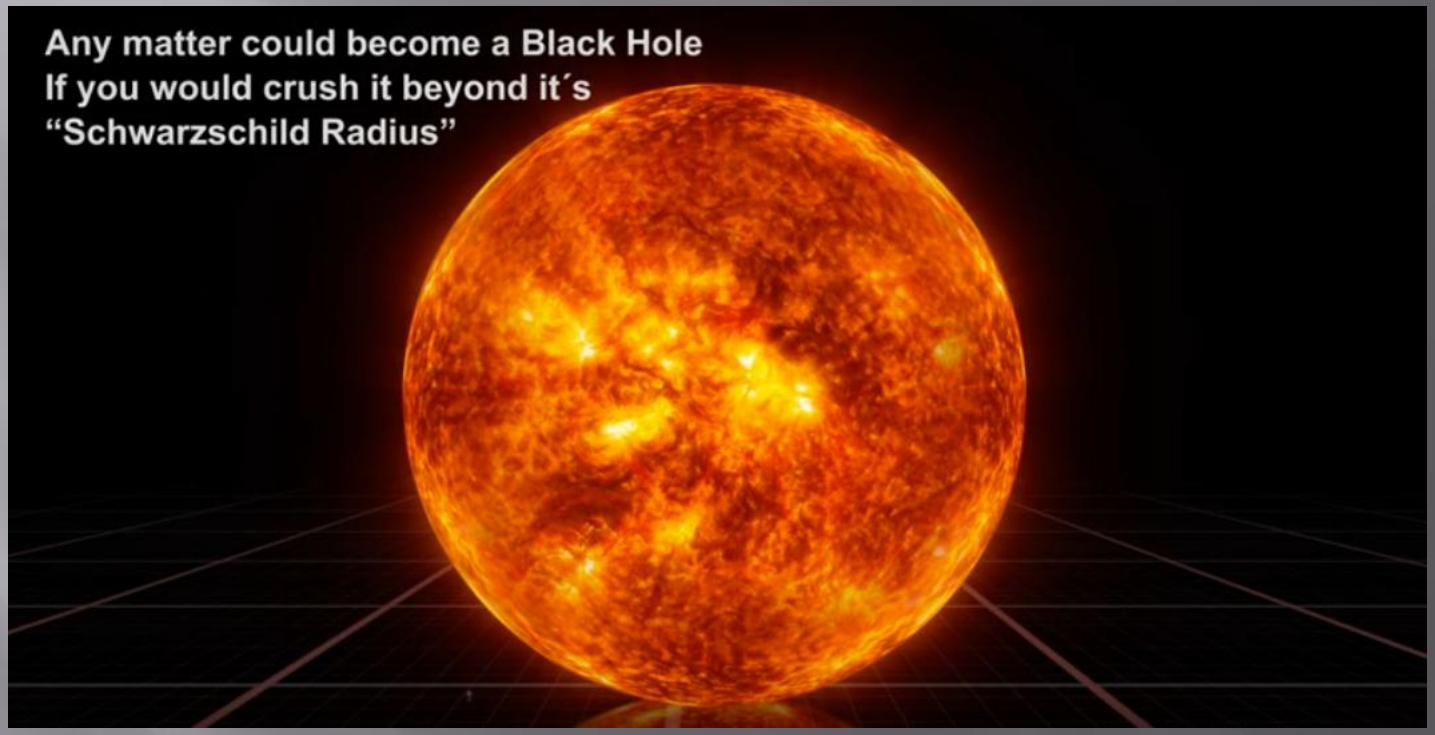
On pense que l'amas globulaire G1 de M31 (Mayal II) pourrait contenir un TN intermédiaire

Trous Noirs Super Massifs

- ~10^5 – 10^{10} $M_\odot$
- Se trouvent au centre des galaxies les plus massives
- Leur origine est encore mal comprise

La Voie lactée comporte un TNSM d'environ 4 millions de $M_\odot$

20 milliards de $M_\odot$!



https://www.youtube.com/watch?v=QgNDao7m41M&feature=youtu.be

https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_trous_noirs_les_plus_massifs

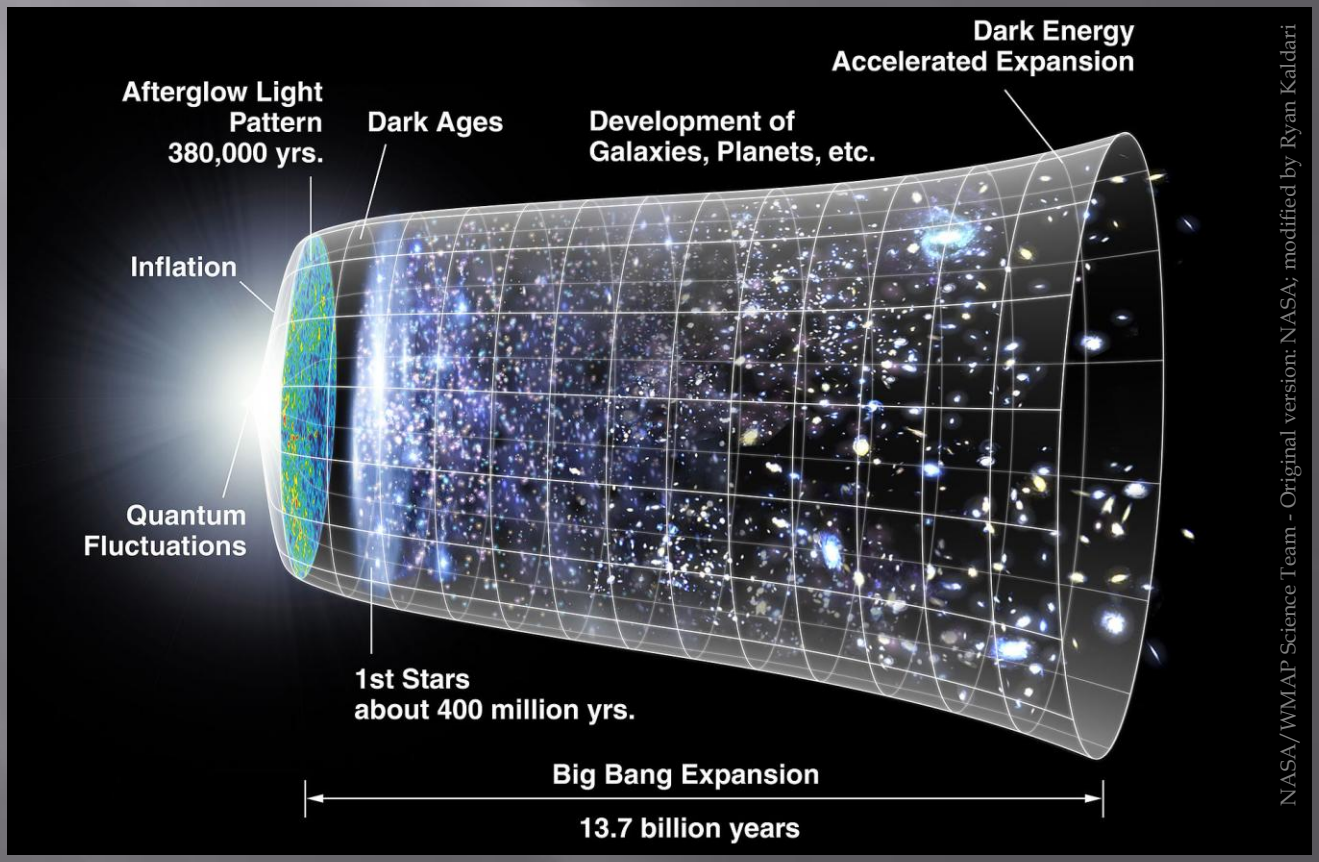
Les TNSM ne sont pas rares !

- La majorité des galaxies en ont un !
- Ils peuvent atteindre des millions et même des milliards de masse solaire
- Certains se sont formés au tout début de l'univers
- On connait environ 50 quasars alimentés par des TNSM et datés de 1 milliard d'années après le *Big Bang*
- La formation de ces TNSM précoces est difficile à expliquer

Le problème

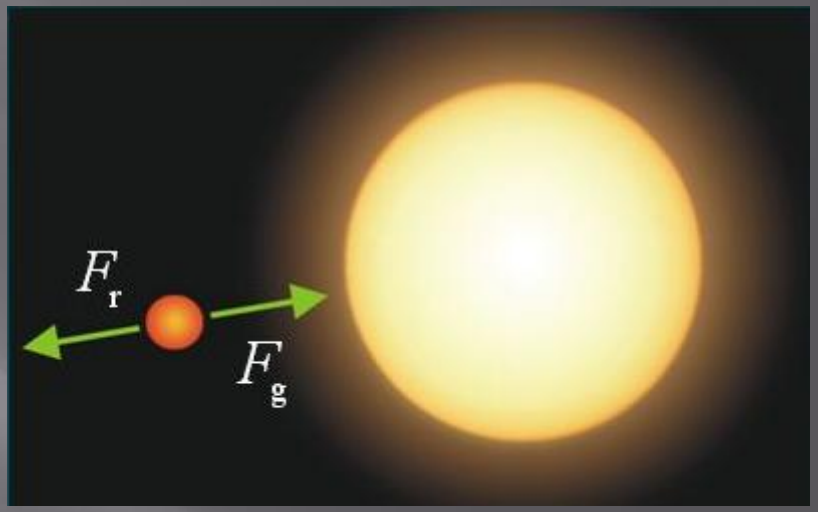
En juin 2014, les astronomes ont découvert ULAS J1120+0641, un Trou Noir Super Massif (TNSM) de 2 milliards de $M_\odot$ au centre d'une galaxie qui existait 765 millions d'années après le Big Bang !

Comment ce TNSM est-il devenu aussi gros aussi rapidement ?



La limite d'Eddington

La **limite d'Eddington** est une valeur de luminosité qu'un objet céleste (par exemple une étoile) ne peut dépasser.



Au-delà de cette limite, la pression de radiation prend le pas sur la gravité et des constituants de l'objet sont éjectés.

PROBLÉMATIQUE

- On ne sais pas trop comment ils se sont formés
- Trois scénarios sont présentement retenus
  - Par collision dans les amas d'étoiles
  - Par mort d'étoiles massives
  - Par effondrement direct

1- Collision dans les amas d'étoiles

Si la densité d'étoiles est élevée, les collisions produiront des étoiles massives qui produiront des TN ayant des masses de centaines de $M_\odot$

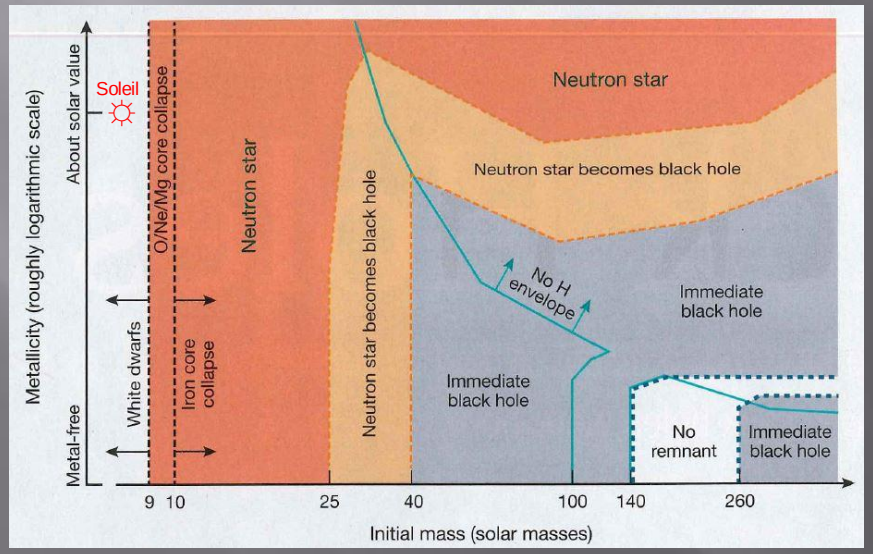
- Processus lent et inefficace
- Exige que les étoiles existent déjà
- Quelques TN se seraient formés ainsi
- Ce scénario n'est pas très populaire parmi les astrophysiciens …

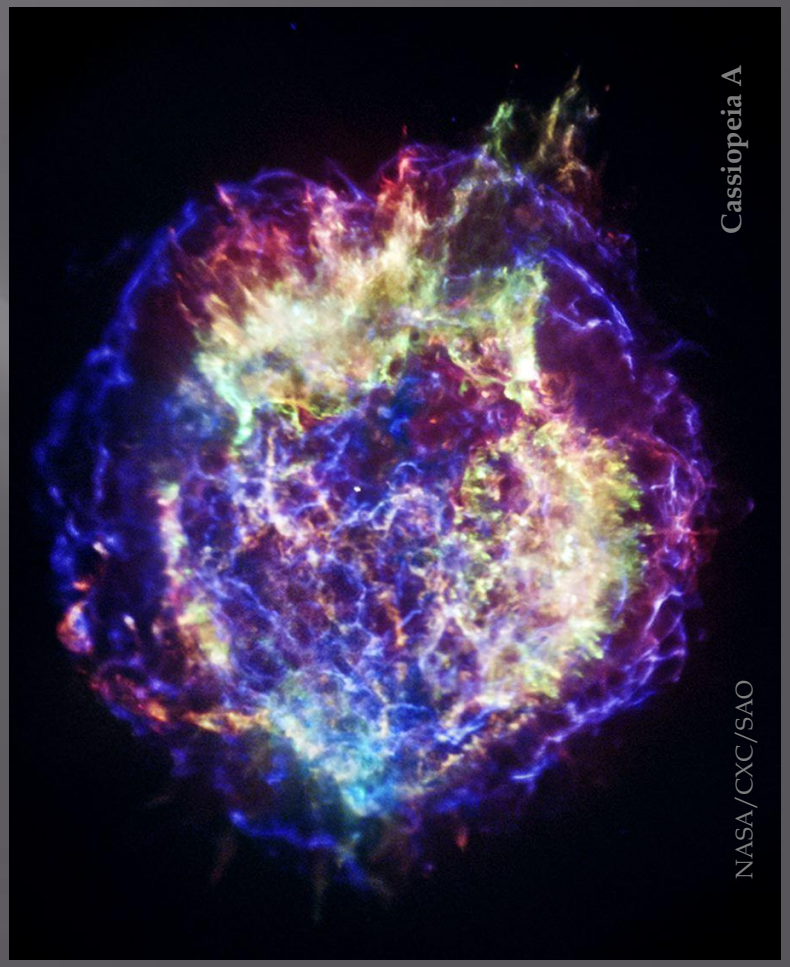
M22 par le CFHT

2- Par mort d'étoiles massives

À la mort (supernova) d'étoiles massives >40 $M_\odot$ de Pop III, on obtient directement un trou noir

- Presque tous les trous noirs stellaires se seraient formés ainsi
- C'est le principe de formation actuel des TN





Ce n'est pas si simple…

Pour atteindre des masses de milliards de $M_{\odot}$, il faudrait que ces TN stellaires et intermédiaires croissent en continu à la limite d'Eddington et ce <u>pendant des centaines de millions d'années</u>

Conserver ce taux de croissance est extrêmement difficile sinon impossible !

Monty Python - The Meaning of Life

Populations I, II et III

Pop I:

- Étoiles jeunes provenant de galaxies spirales (2 à 4% de métal*)
- Constituent la majorité des étoiles actuelles

Pop II:

- Plus vieilles que Pop I, contenu en métal faible (<0,002% de métal)

Pop III:

- Étoiles composées d'H et He – sans métal.
- Étoiles qui se sont formées au début de l'univers et qui n'existent plus aujourd'hui (?)

*** En astrophysique, le terme *métal* désigne tout élément chimique plus lourd que l'hélium !**

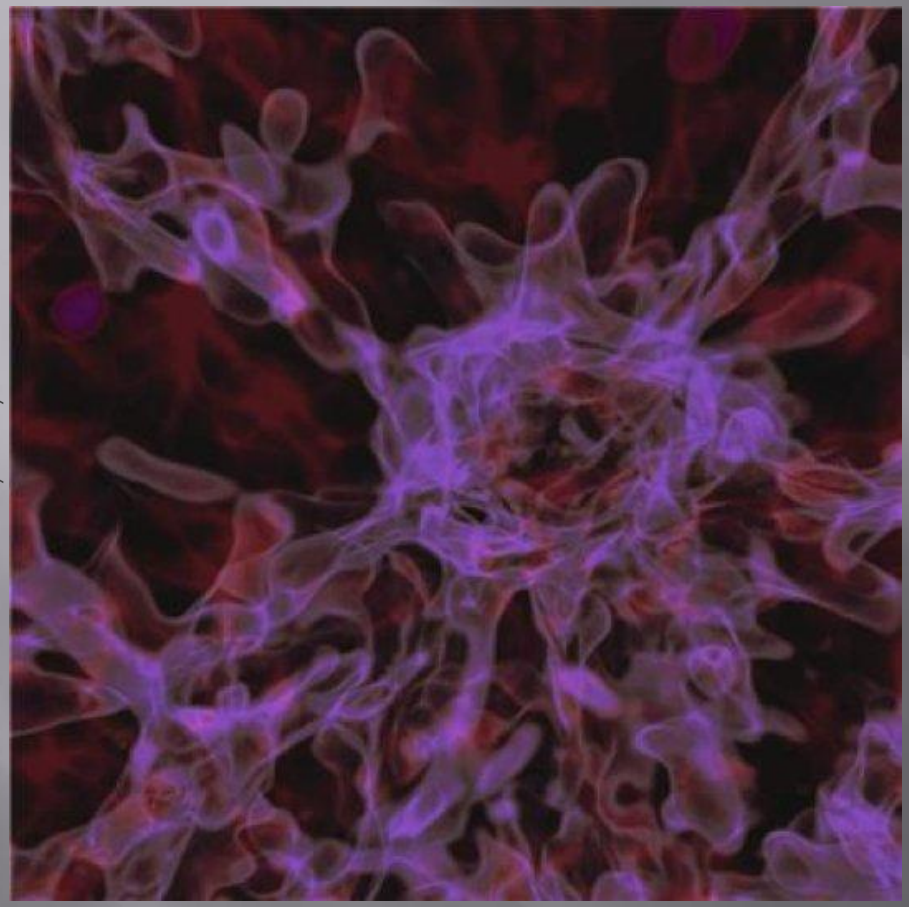
Le problème du

La présence de métal dans les nuages de gaz rends leur croissance très difficile:

- Le métal fait refroidir le gaz trop rapidement et provoque la formation de concentrations de matière (« grumeaux »);
- Le métal opacifie le gaz ce qui empêche l'évacuation de la radiation.

http://www.rollingstone.com/music/pictures/25-most-anticipated-metal-albums-of-2016-20160112

3- Par effondrement direct



Aaron Smith/TACC/UT-Austin

Des évidences ont été annoncées en juillet 2016

https://www.sciencedaily.com/releases/2016/07/160707083309.htm

D'immense nuages de gaz <u>sans métal</u> se seraient effondrés et auraient produit directement des TN très massif.

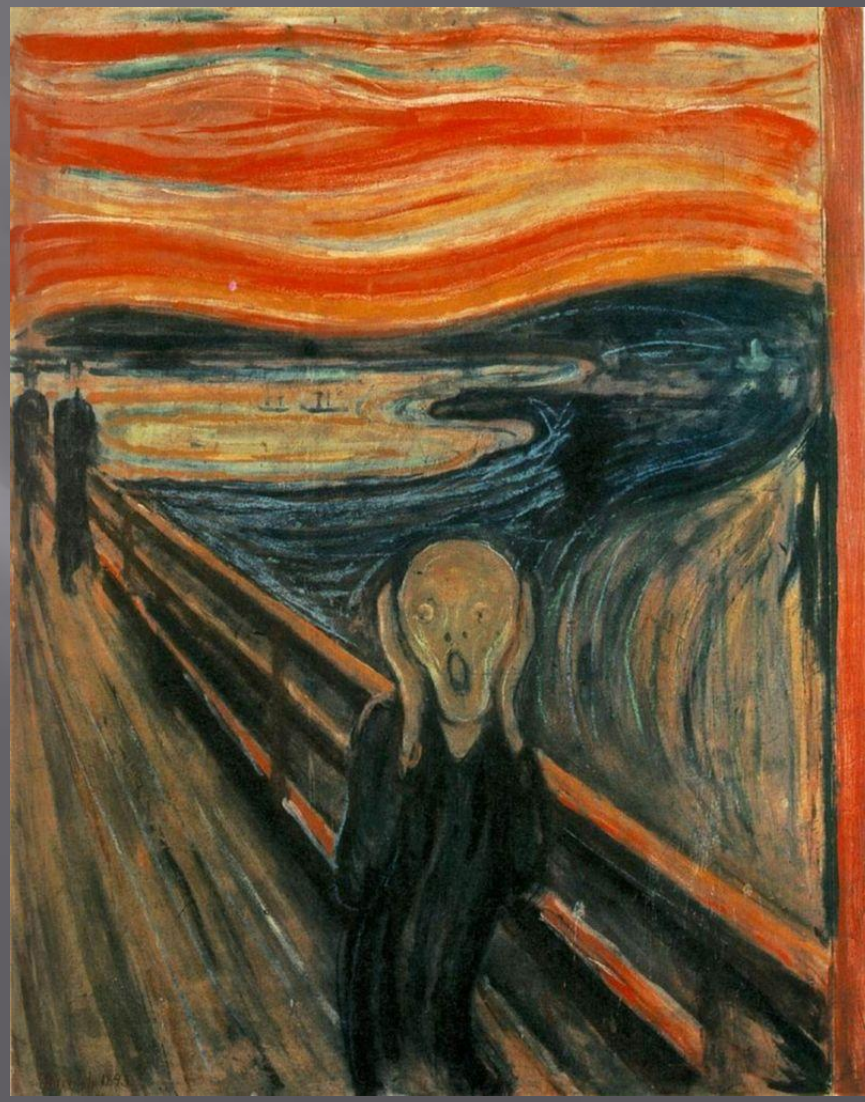
Il y aurait peut-être formation d'étoiles super massives entre les nuages de gaz et le TNSM.

Ce mécanisme pourrait produire directement des TN ~10 000 $M_\odot$

C'est le scénario le plus réaliste mais, qui n'est pas sans problèmes!

D'autres problèmes…

- On doit avoir une très grande source de gaz sans métal
- Le gaz doit rester chaud (≥10 000 K) afin qu'il ne condense pas trop rapidement
- Il doit y avoir suffisamment de rayonnement UV pour empêcher la formation d'hydrogène moléculaire
- Les photons UV doivent provenir d'étoiles très chaudes situées à plus de 10 000 AL afin d'empêcher la contamination par le métal !



Le cri, Edvard Munch

Les simulations à la rescousse

Dans de rares galaxies très massives, les conditions sont propices à ce que les gaz soient dirigés directement dans le TN plutôt que dans le disque d'accrétion.

Ceci permet au TN de croître à une vitesse extraordinaire.

Le quasar ULAS J1120+0641 : 2 000 000 000 $M_{\odot}$, âgé d'environ 12,9 Milliards d'années (765 MA après le BB)

Pages supplémentaires

Qui dit plus ?

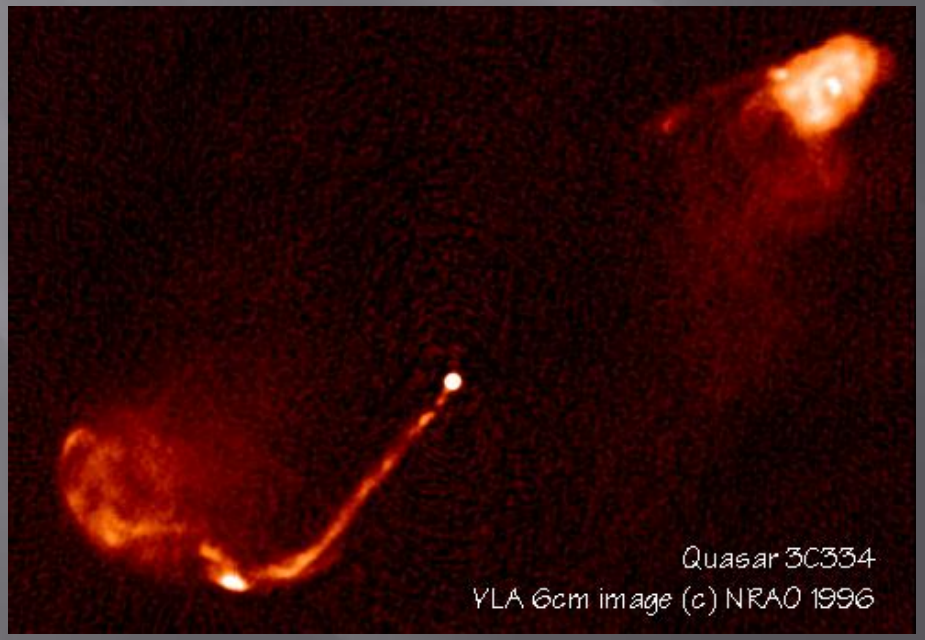
Liste des trous noirs les plus massifs

Nom	Masse (Soleil = 1)
S5 0014+813	40 000 000 000[6, 7, 8]
APM 08279+5255	23 000 000 000
NGC 4889	21 000 000 000[9]
Trou noir de la galaxie elliptique centrale de l'amas du Phénix	20 000 000 000[10]
SDSS J074521.78+734336.1 (en)	19 500 000 000[11]
Principal de OJ 287	18 000 000 000[12]
SDSS J08019.69+373047.3 (en)	15 140 000 000[11]
SDSS J115954.33+201921.1 (en)	14 120 000 000[11]
SDSS J075303.34+423130.8 (en)	13 800 000 000[11]
SDSS J080430.56+542041.1 (en)	13 500 000 000[11]
SDSS J081855.77+095848.0 (en)	12 000 000 000[11]
SDSS J0100+2802	12 000 000 000[13, 14]
SDSS J082535.19+512706.3 (en)	11 220 000 000[11]
SDSS J013127.34-032100.1 (en)	11 000 000 000[15]
Trou noir de la galaxie elliptique centrale de l'amas de galaxies MS 0735.6+7421	10 000 000 000[16]
Trou noir de M82	30 000 000[52]
Trou noir de M108	24 000 000[54]
Trou noir de NGC 3783 (en)	$2.98 \pm 0.54 \times 10^{7}$[4], 9 300 000[5]
Markarian 110 (en)	$2.51 \pm 0.61 \times 10^{7}$[4], 5 620 000[5]
Markarian 335 (en)	$1.42 \pm 0.37 \times 10^{7}$[4], 6 310 000[5]
Trou noir secondaire de NGC 4151	10 000 000[51]
Trou noir de NGC 7469 (en)	$12.2 \pm 1.4 \times 10^{6}$[4], 6 460 000[5]
Trou noir de IC 4329 (en) A	$9.90^{+17.88}_{-11.88} \times 10^{6}$[4], 5 010 000[5]
Trou noir de NGC 4593	$5.36^{+9.37}_{-6.95} \times 10^{6}$[4], 8 130 000[5]
Trou noir de M61	5 000 000[55]
Trou noir de M32	1 500 000–5 000 000[56]
Sagittarius A*	4 100 000[57]
Trou noir de NGC 4051 (en)	$1.91 \pm 0.78 \times 10^{6}$[4], 1 300 000[5]

https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_trous_noirs_les_plus_massifs

Quasar et TNSM…

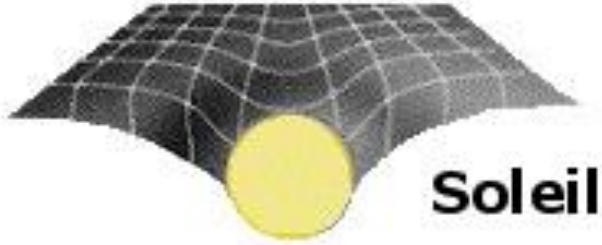
- On connait environ 50 quasars alimentés par des TNSM à des distances correspondant à un âge d'environ 1 milliard d'années après le BB
- La limite d'Eddington ne permet pas la création de TNSM aussi rapidement !

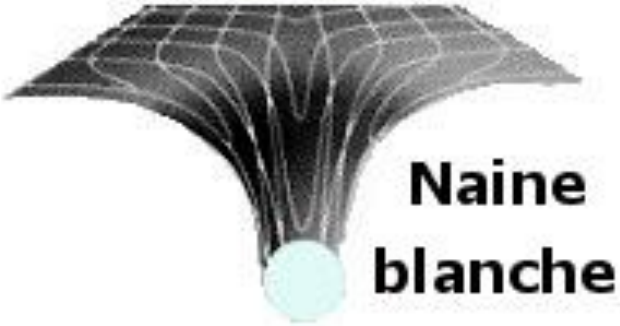


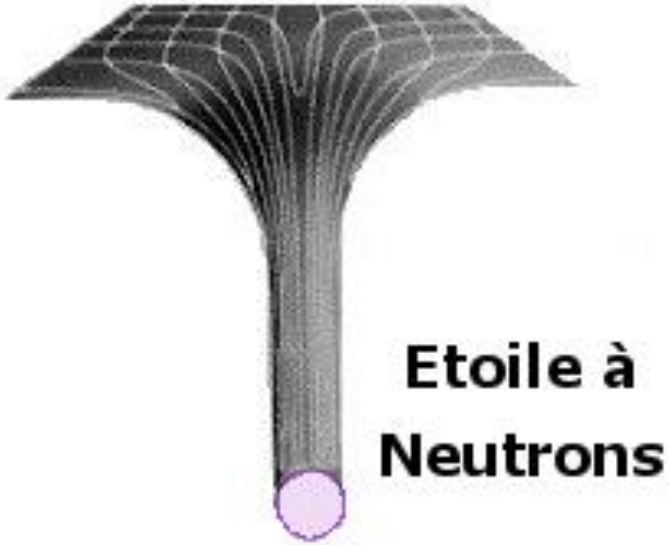
Quasar et TNSM

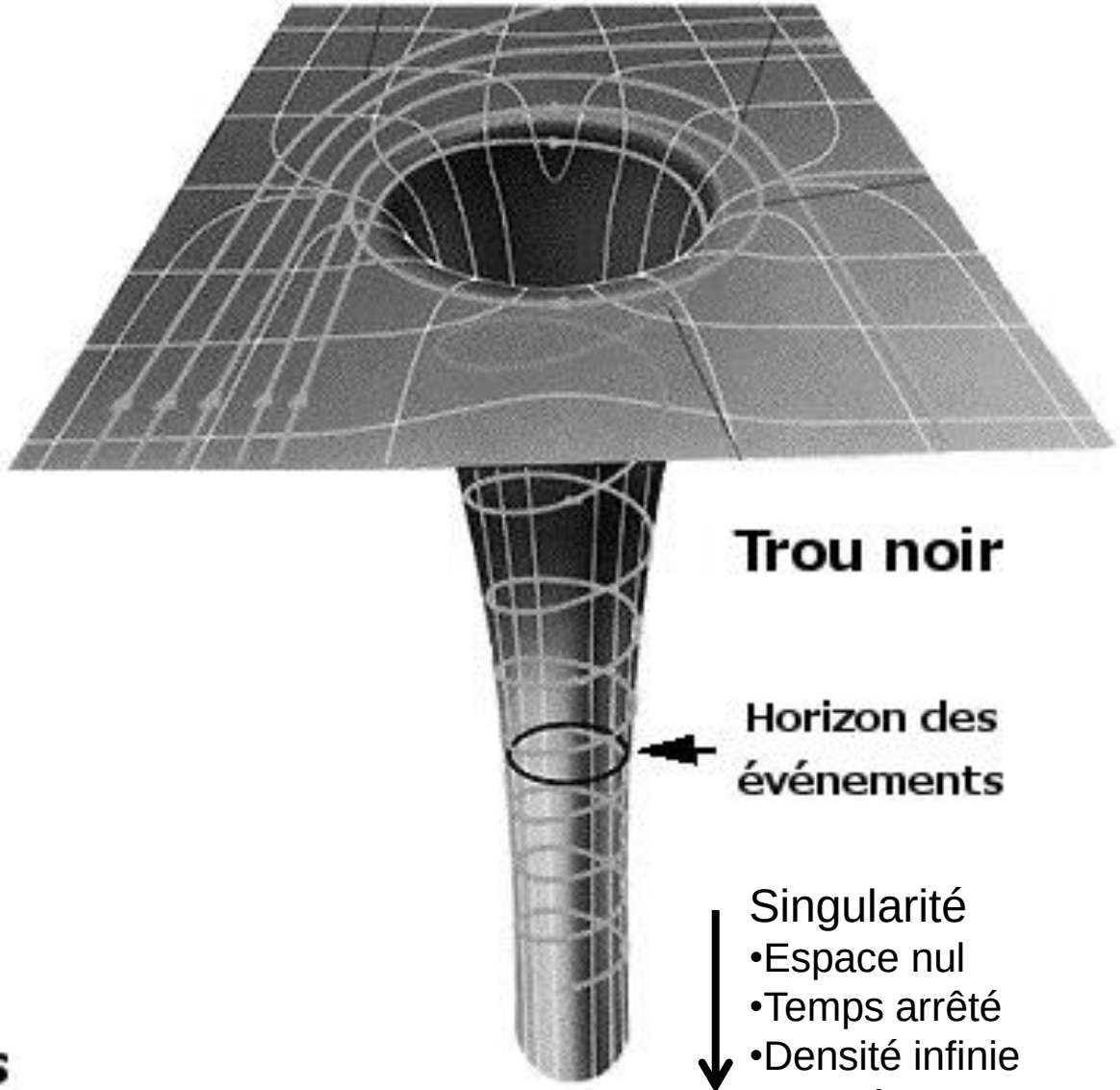
Un quasar est une région compacte entourant un TNSM.

Cette région émet une quantité d'énergie électromagnétique énorme produite par la matière qui s'effondre dans le disque d'accrétion sous l'influence de l'attraction gravitationnelle du TN.







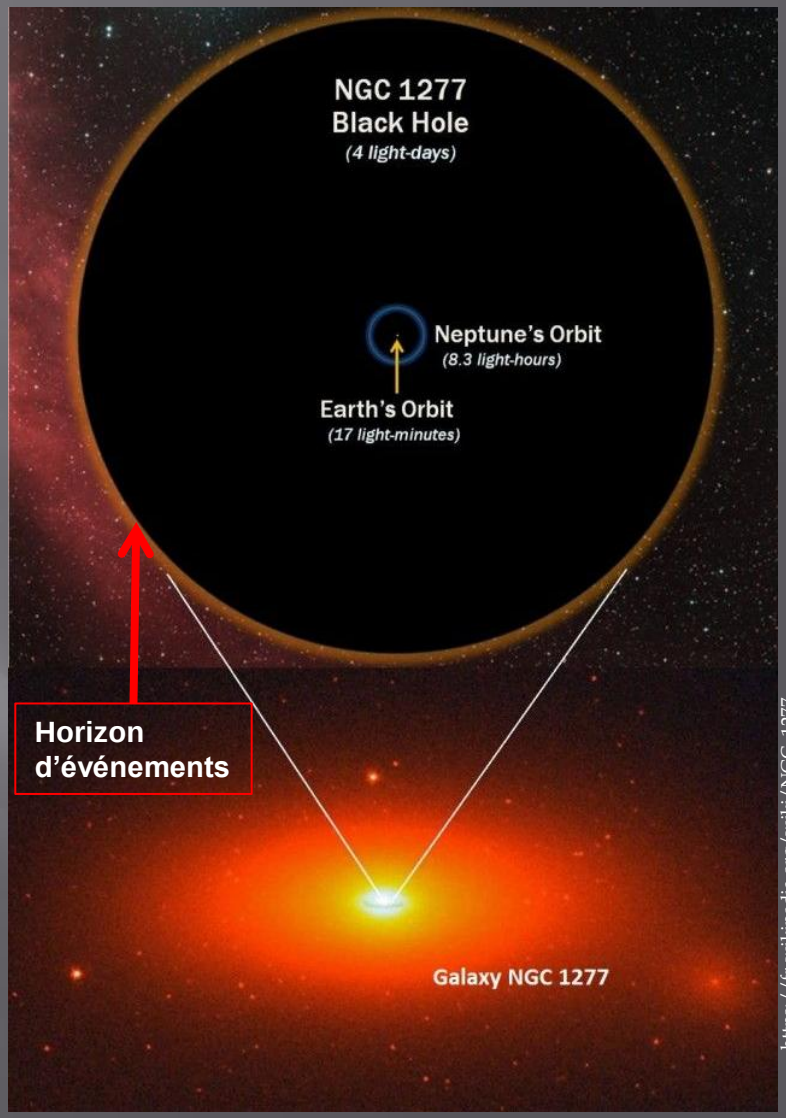


Singularité
- Espace nul
- Temps arrêté
- Densité infinie
- Température infinie

NGC 1277

NGC 1277 recèlerait en son centre un trou noir supermassif s'environ 17 milliards de masses solaires, soit environ 14 % de la masse de la galaxie et 59 % de la masse du bulbe galactique, alors que la valeur typique pour un trou noir supermassif est plutôt de l'ordre de 0,1 % de la masse du bulbe de la galaxie hôte.

Une telle masse pose cependant problème dans le cadre des théories actuelles décrivant la formation et l'évolution des galaxies : celles-ci indiquent en effet que les trous noirs supermassifs qu'elles abritent cessent de grossir lorsque l'accrétion de la matière environnante génère un rayonnement dont l'intensité s'oppose à la chute des gaz vers le centre des galaxies, aboutissant à des trous noirs supermassifs représentant environ 0,1 % de la masse des galaxies observées.



https://fr.wikipedia.org/wiki/NGC_1277

NGC 1277 est une galaxie lenticulaire située dans la constellation de Persée à environ 231 millions d'années-lumière de la Voie lactée.

Un TNSM dans une galaxie naine !

Le 27 mars 2017, JPL a annoncé la découverte d'un TNSM dans une galaxie naine (Was b) en train d'être avalée par une galaxie plus importante (Was A) !

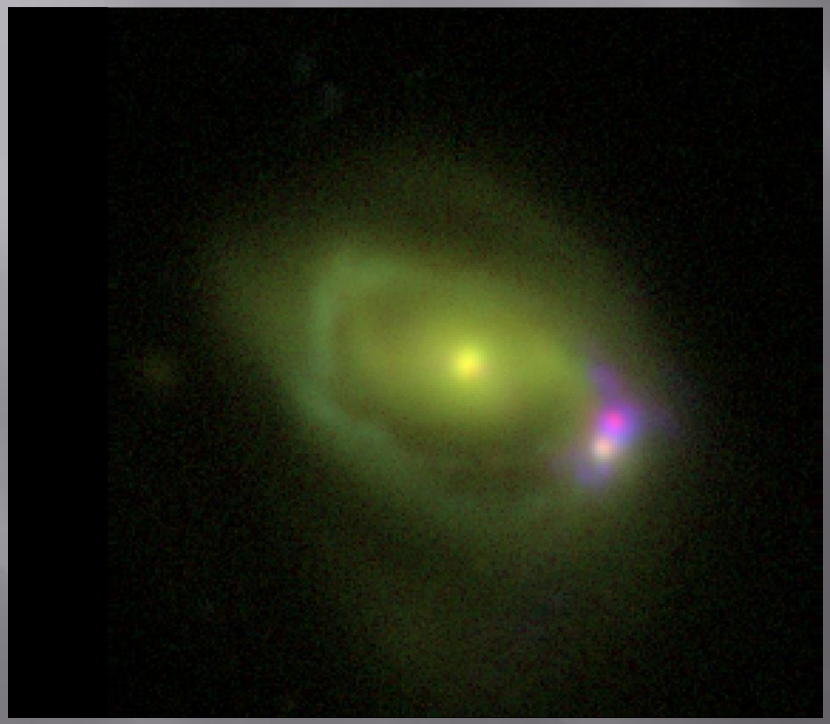


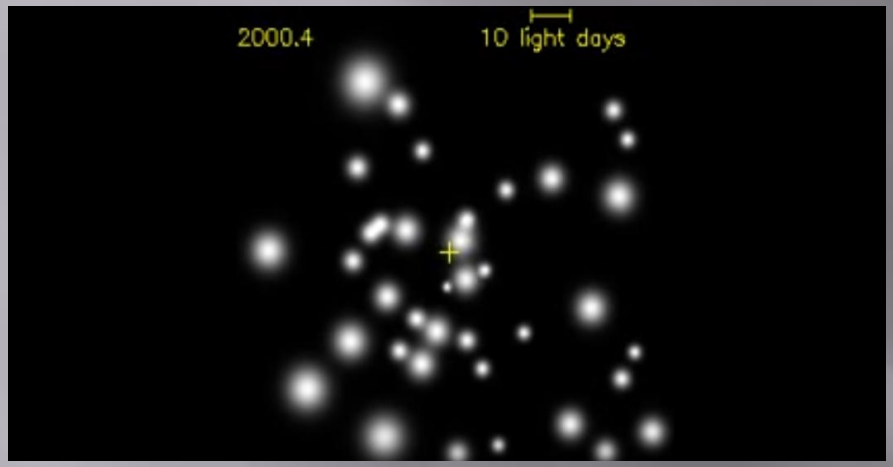
Image credit: DCT/NRL

Découverte par le Nuclear Spectroscopic Telescope Array (NuSTAR)

Image optique du Discovery Channel Telescope

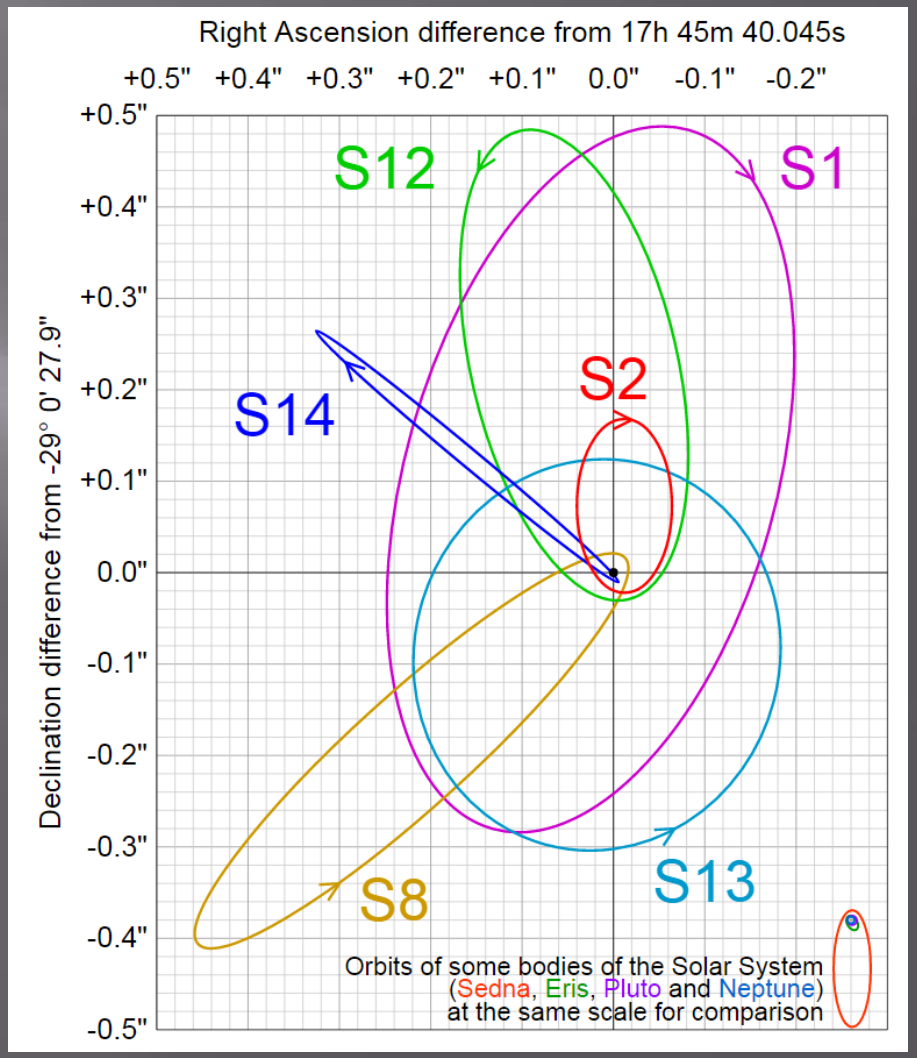
https://www.jpl.nasa.gov/news/news.php?feature=6794&utm_source=iContact&utm_medium=email&utm_campaign=NASAJPL&utm_content=daily20170327

Sagitarius A*



Seulement 4 100 000 $M_\odot$

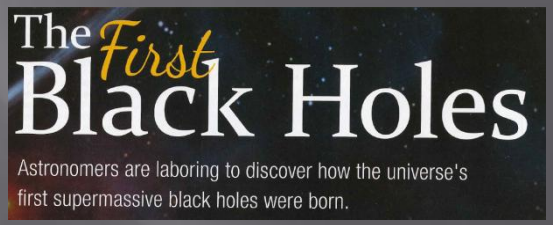
https://www.youtube.com/watch?v=k7xl_zjz0o8



Cette présentation est inspirée des articles scientifiques suivants:

Greene, J. E. (2012). ***Goldilocks Black Holes.*** Scientific American, January 2012, pp. 40-47

Scharf, C. (2012). ***The Benevolence of Black Holes.*** Scientific American, August 2012, pp. 34-39

Carlisle, C. M. (2017). ***The First Black Holes.*** Sky & Telescope Magazine. January 2017, pp 24-31

Carlisle, C. M. (2017). ***Of Black Holes and Galaxies.*** Sky & Telescope Magazine. February 2017, pp 18-25