

Comment on “voit” un trou noir ?



Lucien Mauviard-Haag
UniverSCiel - 16/01/2024

Introduction

Objectif :

Donner une vue générale des méthodes de détection des trous noirs

En réalité :

Excuse pour expliquer un peu la physique autour des trous noirs

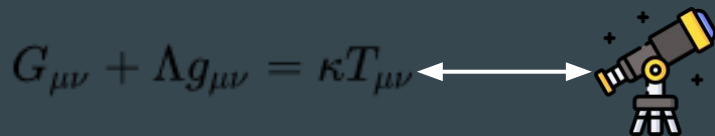
Pourquoi on veut en voir ?

Pour comparer nos théories et les observations

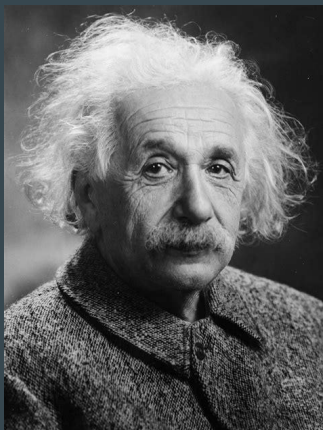
Combien on en voit ?

~1000 stellaires + 1 / galaxie



$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}$$


Introduction



Décembre 1915 - Einstein publie la théorie de la relativité générale: L'espace et le temps se déforment, la lumière est "attirée" par la masse



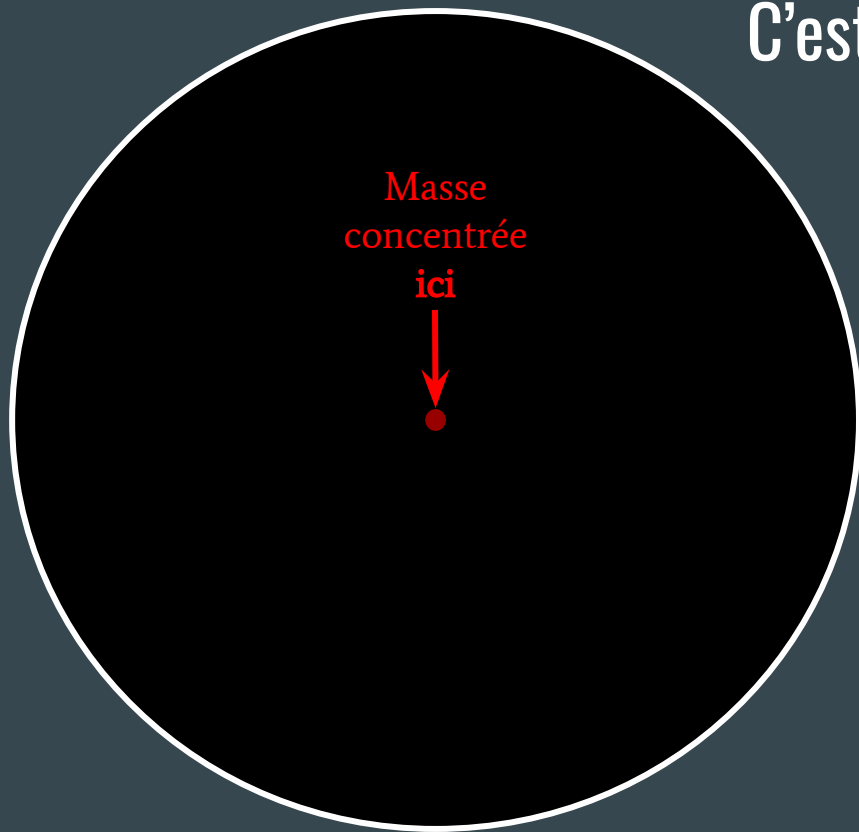
Janvier 1916 - Schwarzschild trouve une solution dont les trous noirs sont conséquence

1920-1960
Les trous noirs sont uniquement considéré comme curiosité mathématique, et non comme réalité physique

1971
Première observation de trou noir

C'est quoi un trou noir ?

C'est quoi un trou noir ?



Masse
concentrée

ici



- Objet massif défini par l'existence d'une région **géométrique** de laquelle la lumière ne peut pas s'échapper :

← l'Horizon des évènements

Très très dense mais on ne sait pas comment s'agence la matière au centre

Masse **finie** : se comporte comme tout autre objet massif

Provient de l'effondrement d'une étoile

Observons un trou noir...

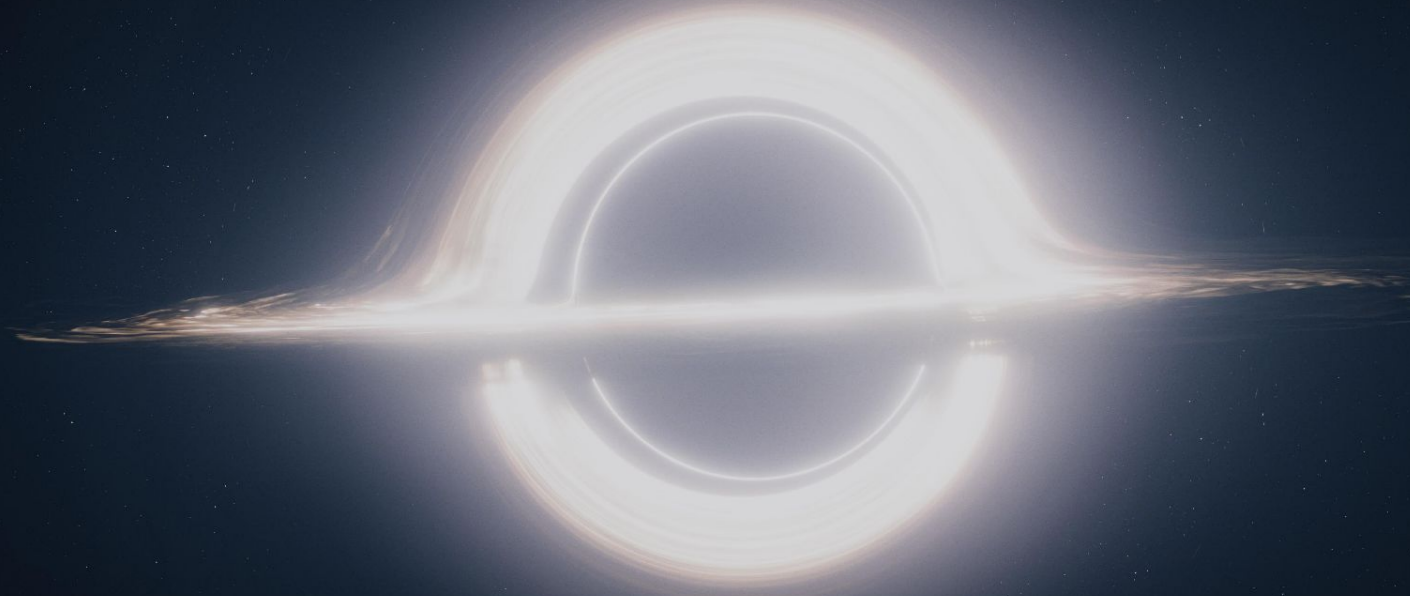
Et un autre objet ?

Il faut une source de lumière
annexe pour la voir !



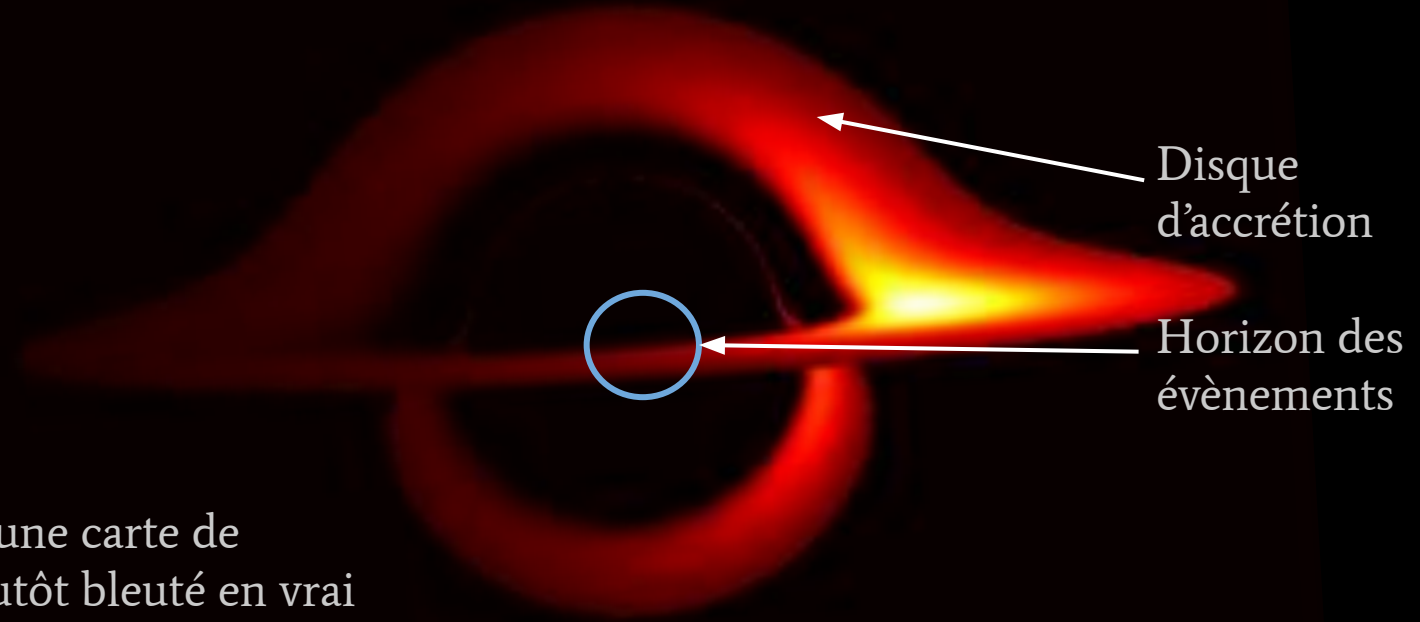
Ça ressemble à quoi en vrai ?

Selon Nolan



Interstellar, Christopher Nolan, 2014

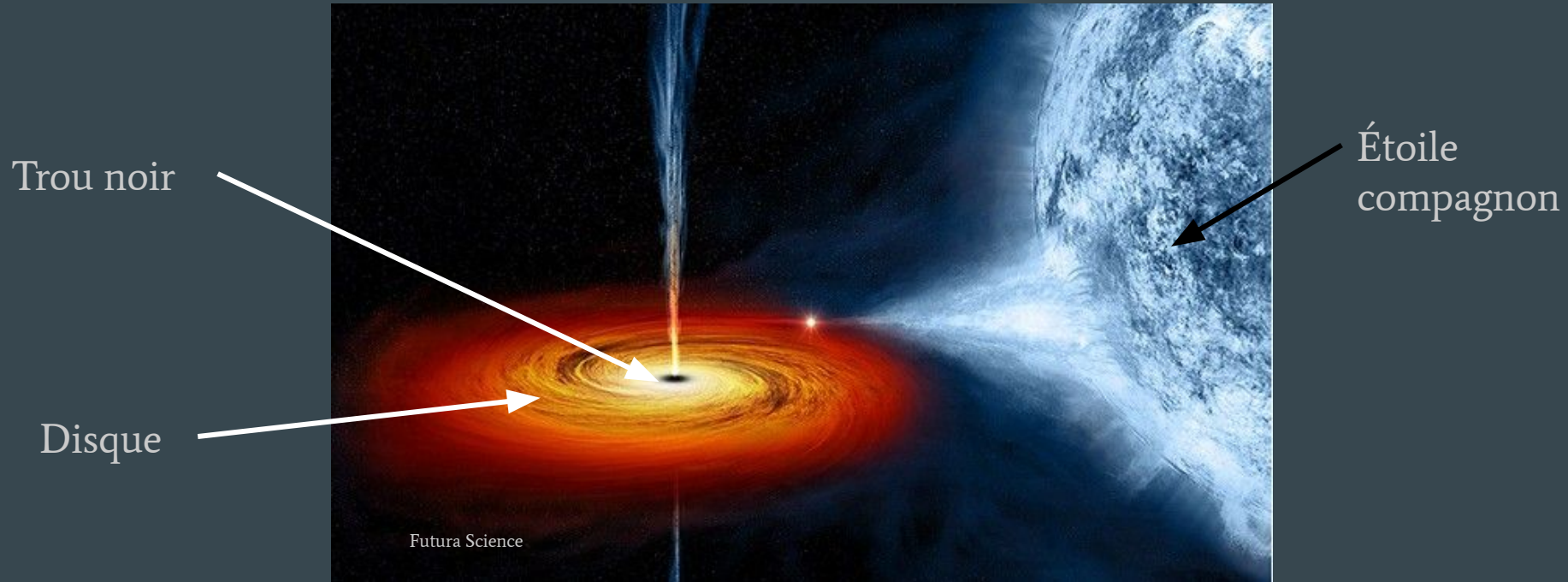
Pas si loin !



La couleur est une carte de
luminosité : plutôt bleuté en vrai

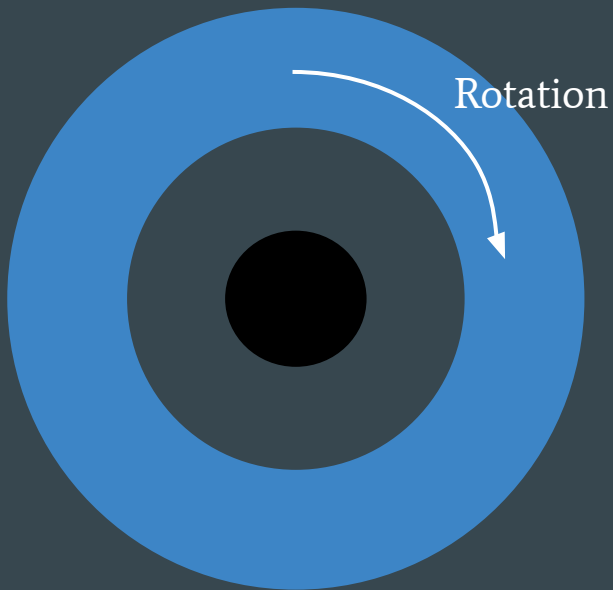
Mais on voit quoi ?

D'où vient le gaz ?



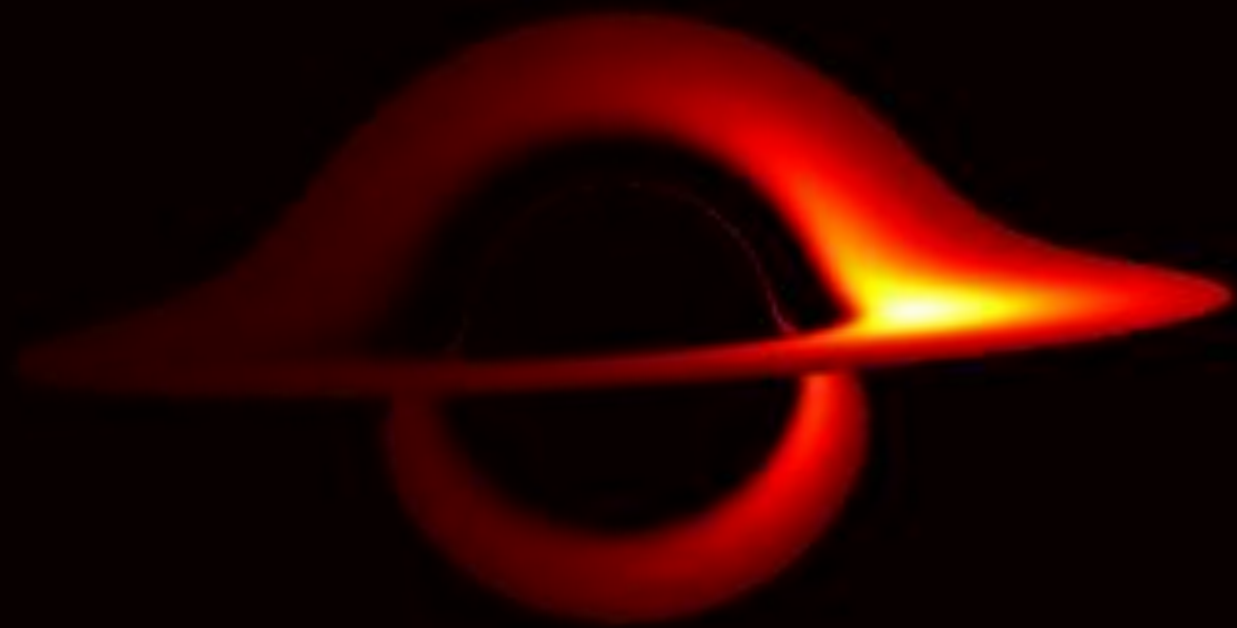
Qu'est ce qu'on voit alors ?

Vue d'en haut

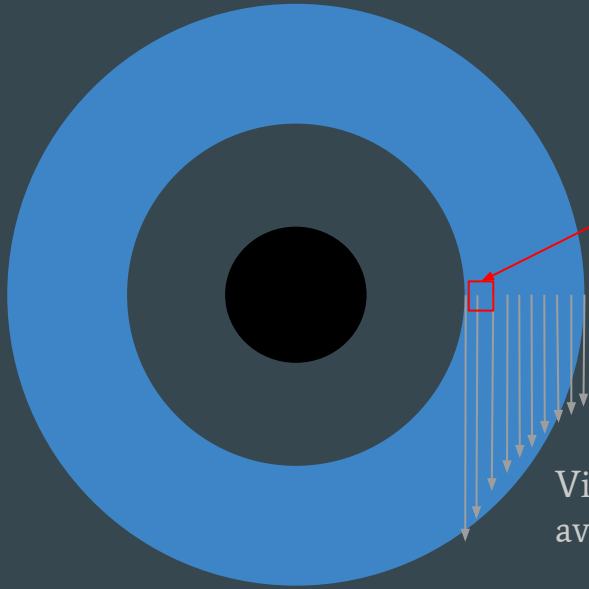


Vue de côté



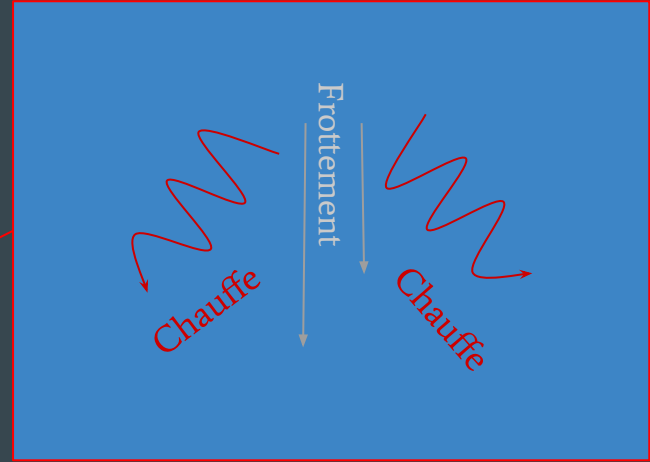


Qu'est ce qu'on voit alors ?

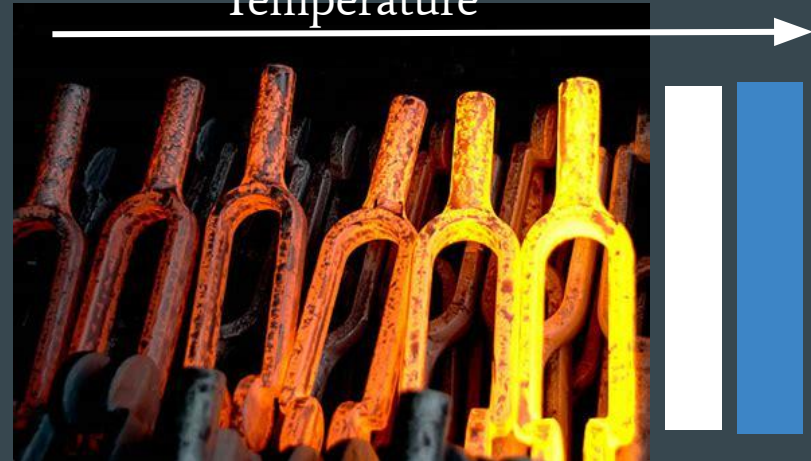


Vitesse variant
avec le rayon

On voit le gaz chaud (1 million de degrés),
distordu par le trou noir !



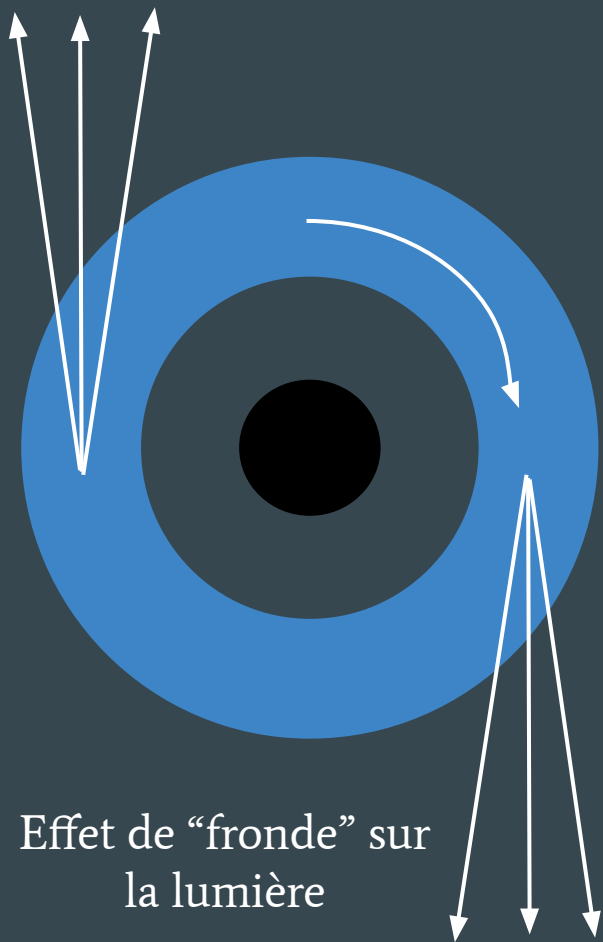
Température





C'est quoi le petit cercle ?

Pourquoi c'est plus lumineux ici ?



Effet de "fronde" sur
la lumière

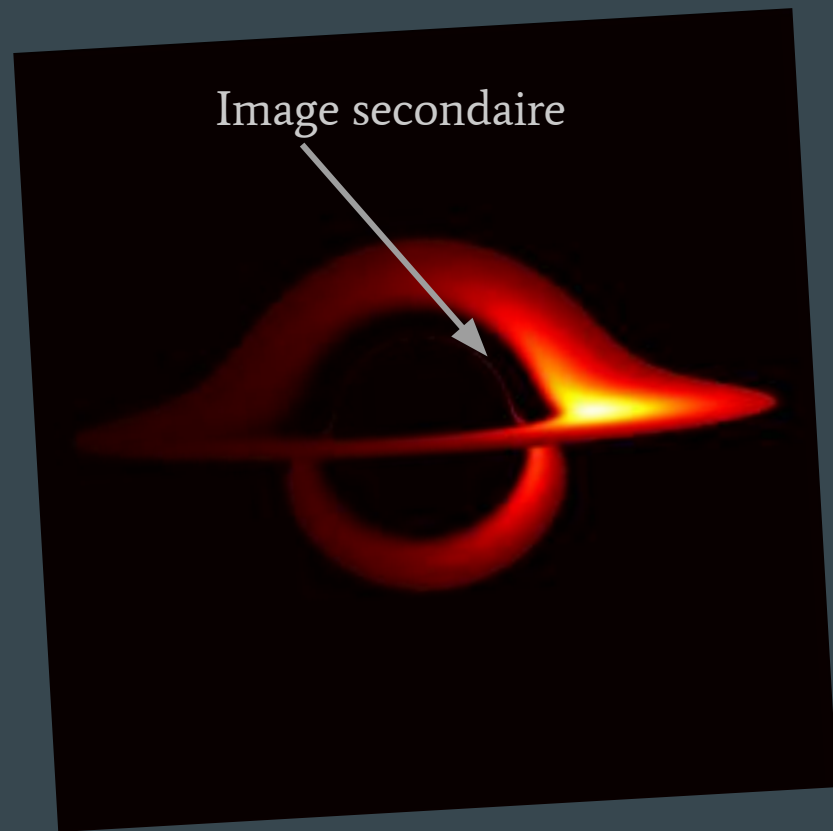
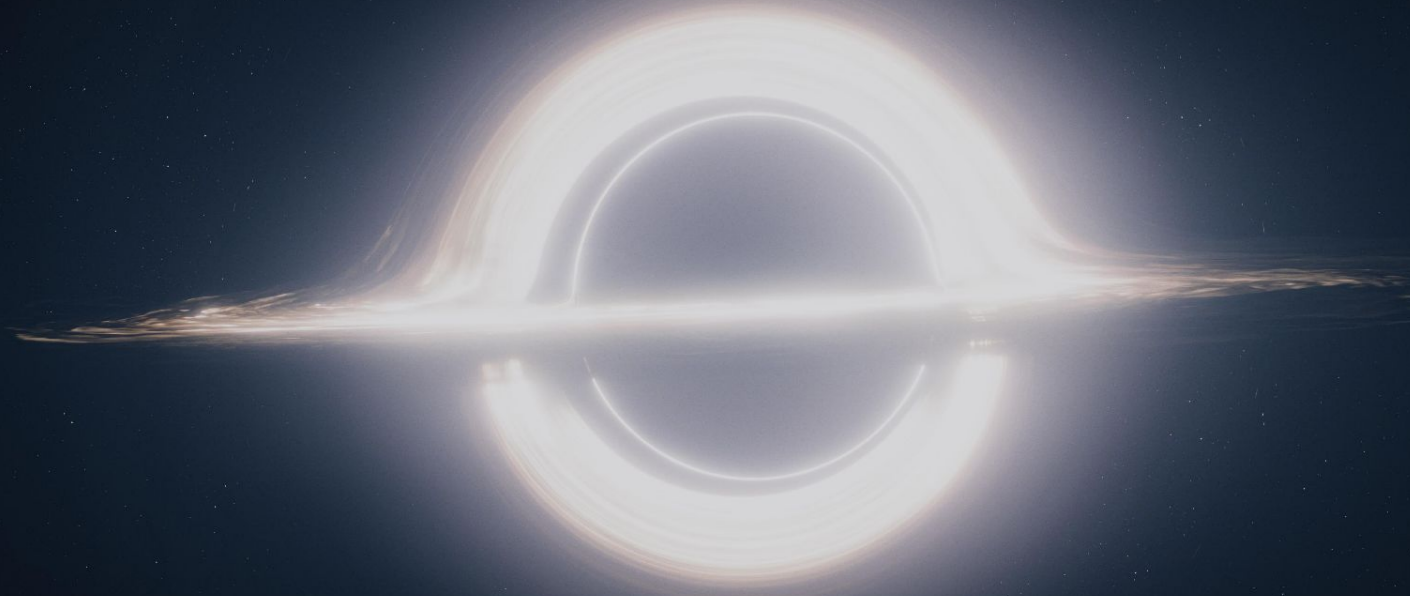


Image secondaire

Selon Nolan



Interstellar, Christopher Nolan, 2014

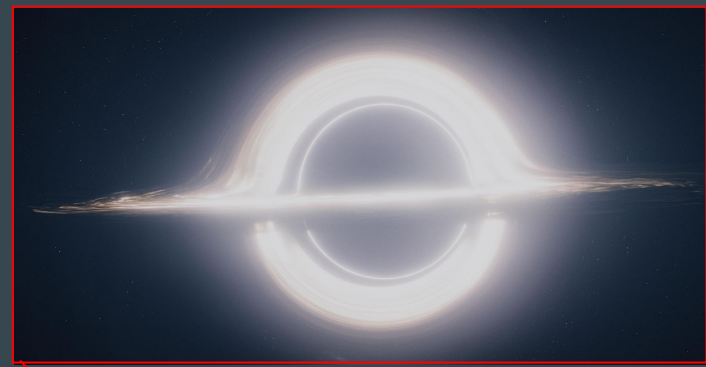
Méthodes d'observations : Émissions proche du trou noir

Méthode 1 : Des rayons X

On n'observe pas l'image résolue
mais seulement un point

On observe la “signature” en
rayons X d'un trou noir associée à
une étoile

Signature : Émission d'un objet
chaud en rotation rapide



Vue en rayons X de Cygnus X-3

Mais on a une image de trou noir, non ?

Méthode 2 : Imagerie directe



M87*

Sgr A*

Mercury's orbit

Voyager 1

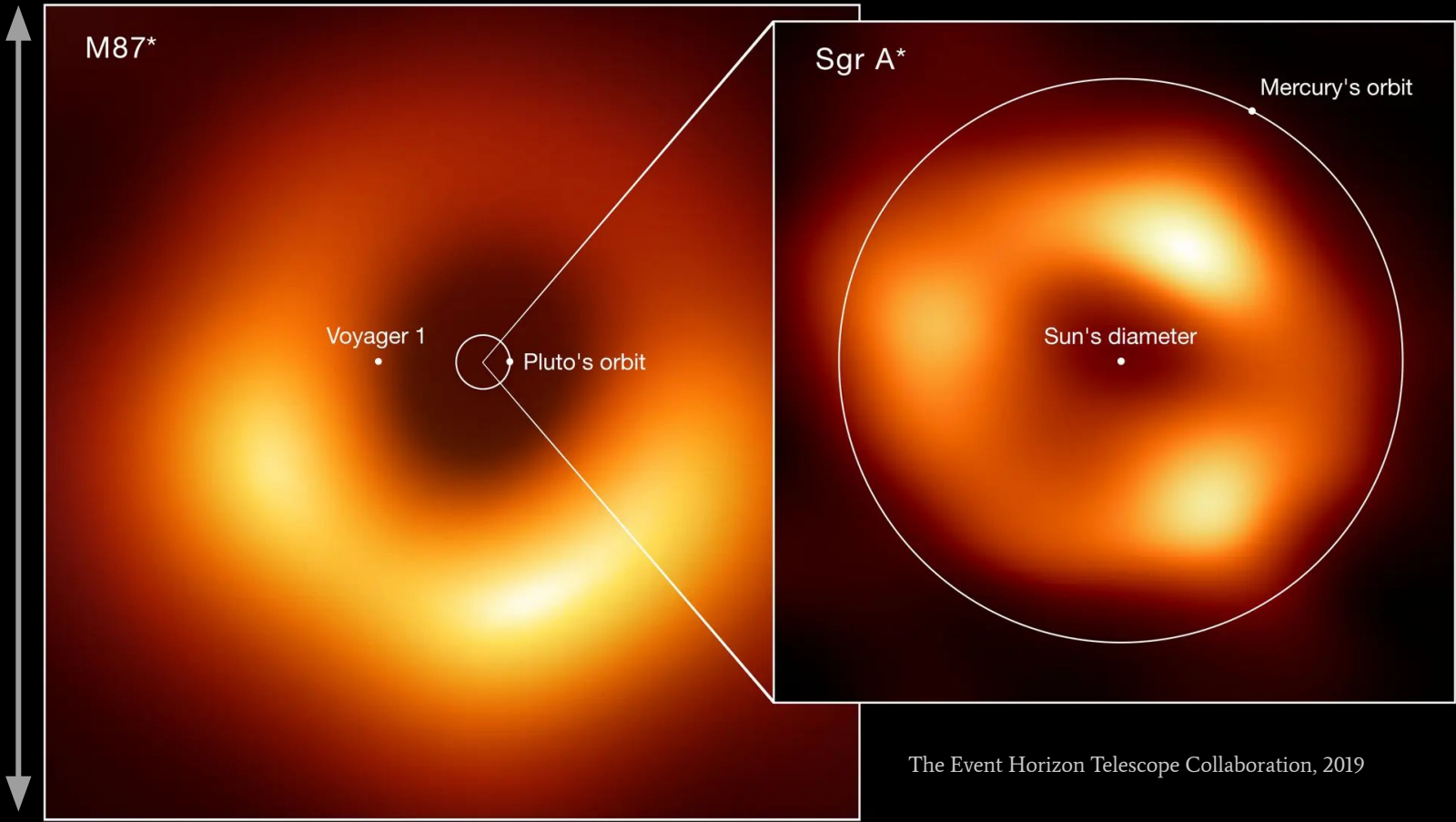
Pluto's orbit

Sun's diameter

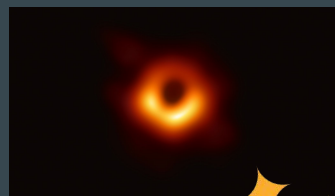
Bougie à
Hong-Kong
vue de
New-York

Largeur d'un
cheveu à
100m

The Event Horizon Telescope Collaboration, 2019



Comment on fait alors ?



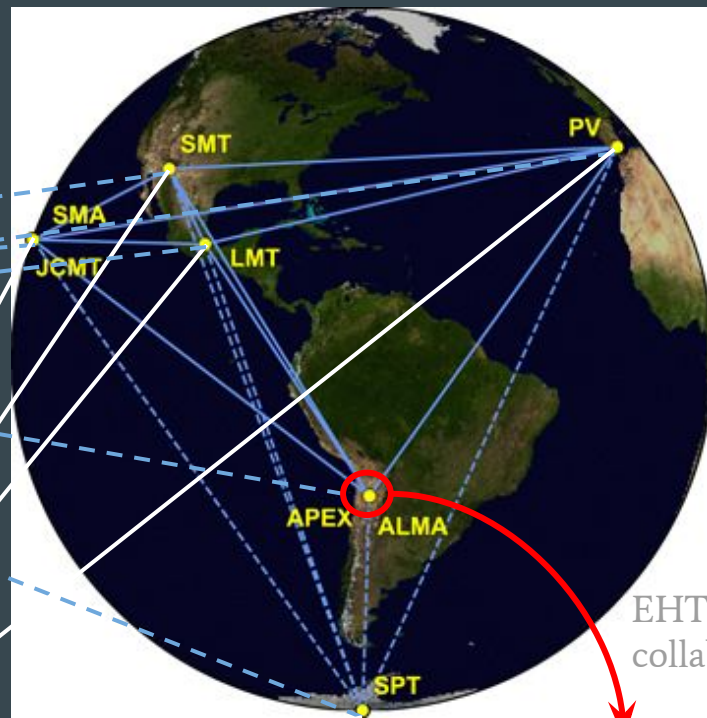
Magie



Fusionne



Radio observations



EHT collaboration



Pas facile facile !

**Et si on regardait les
étoiles proches plutôt ?**

Méthode 3 : Dynamique des objets



trajecto
orbite t



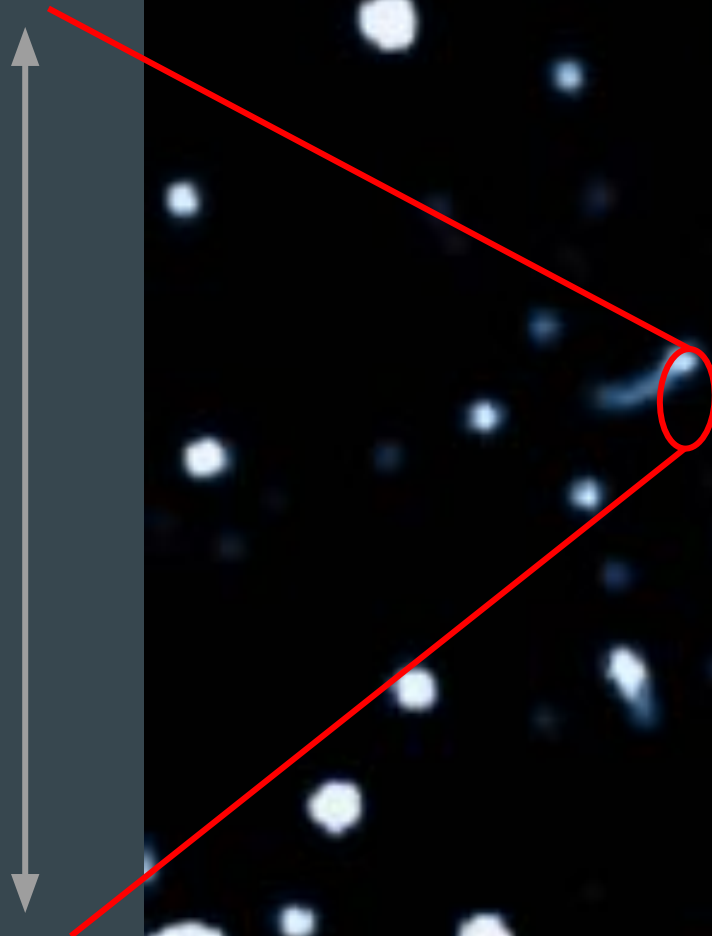
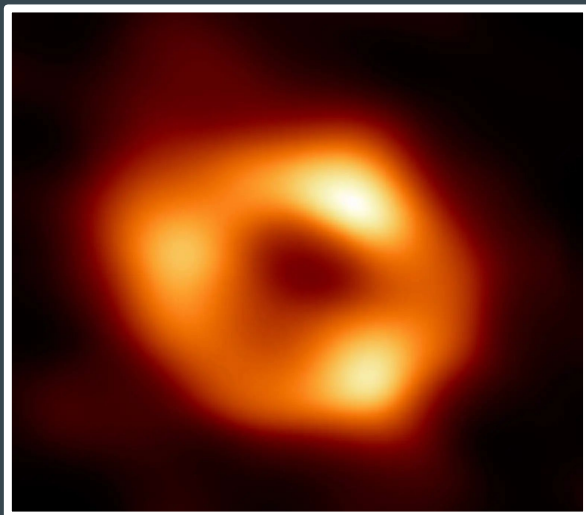
Les proportions
des distances q



20 ans d'orbite de S2 autour du trou noir
au centre de la voie lactée,
GRAVITY Collaboration 2018

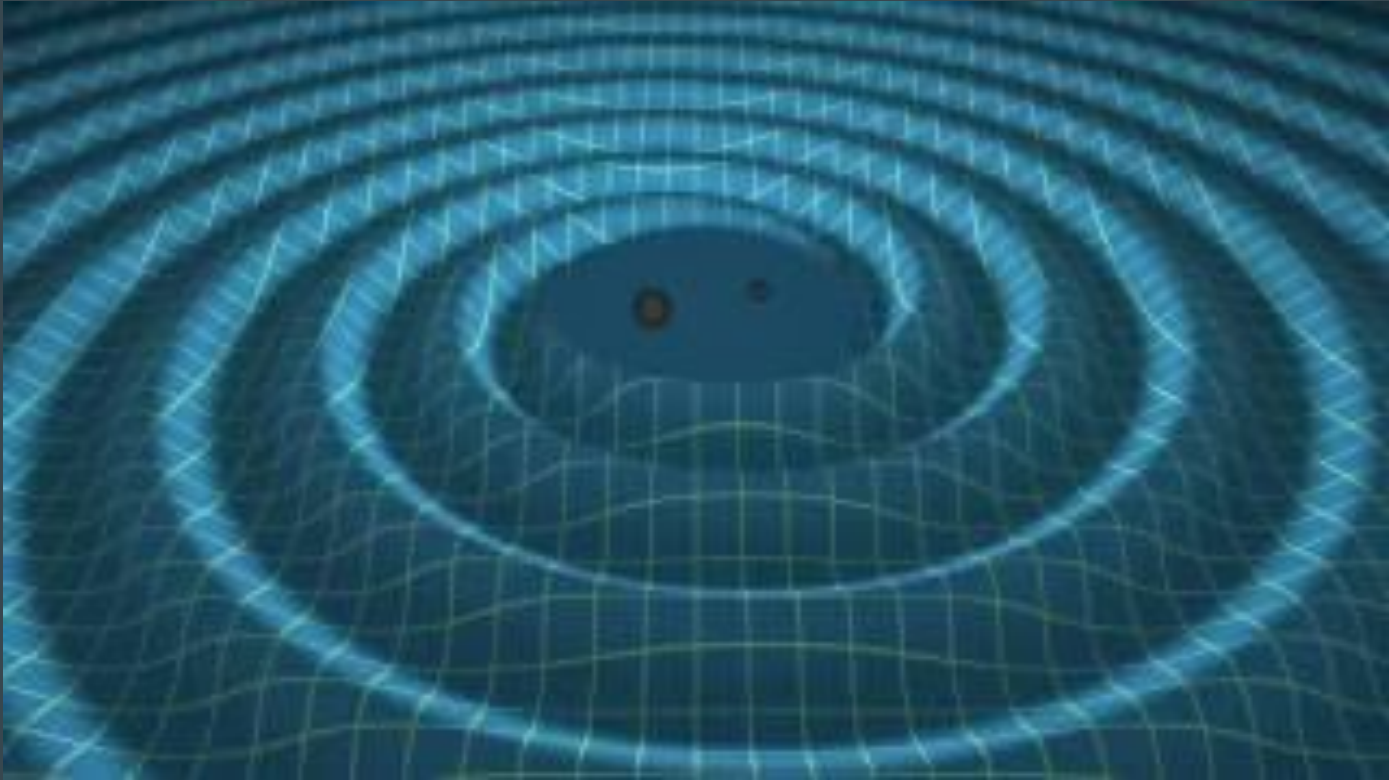
Méthode 3 : Dynamique des objets

1000x SagA*

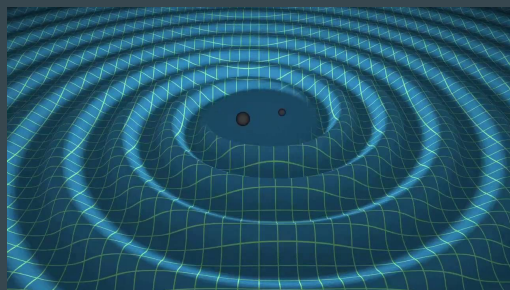
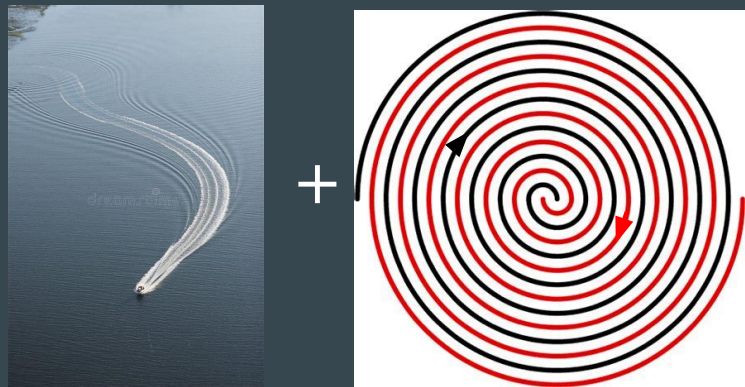


20 ans d'orbite de S2 autour du trou noir
au centre de la voie lactée SagA*,
GRAVITY Collaboration 2018

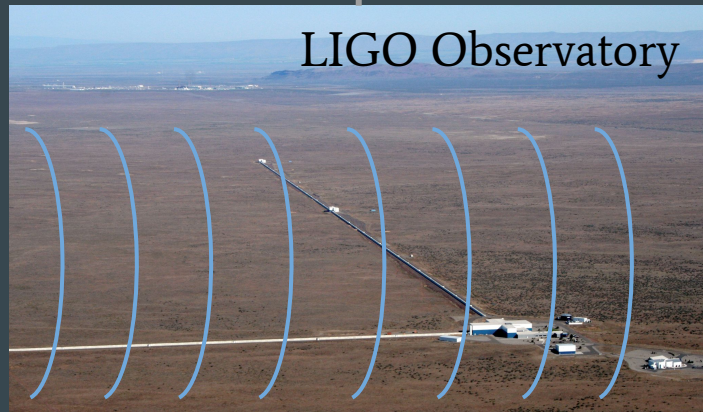
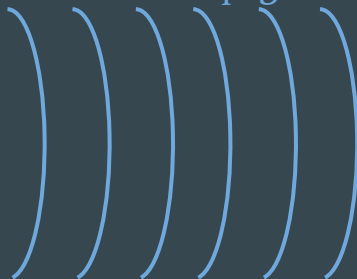
Méthode 4 : Ondes gravitationnelles



Méthode 4 : Ondes gravitationnelles

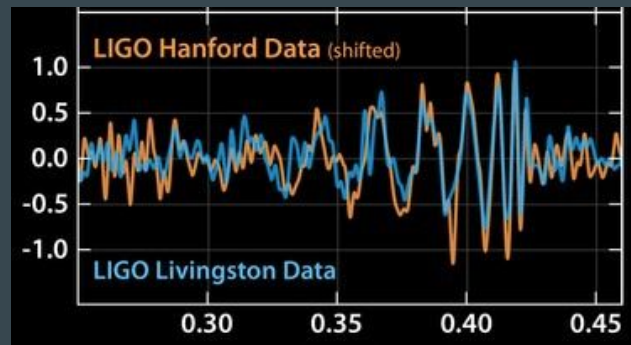


Propagation



LIGO Observatory

Déplacement



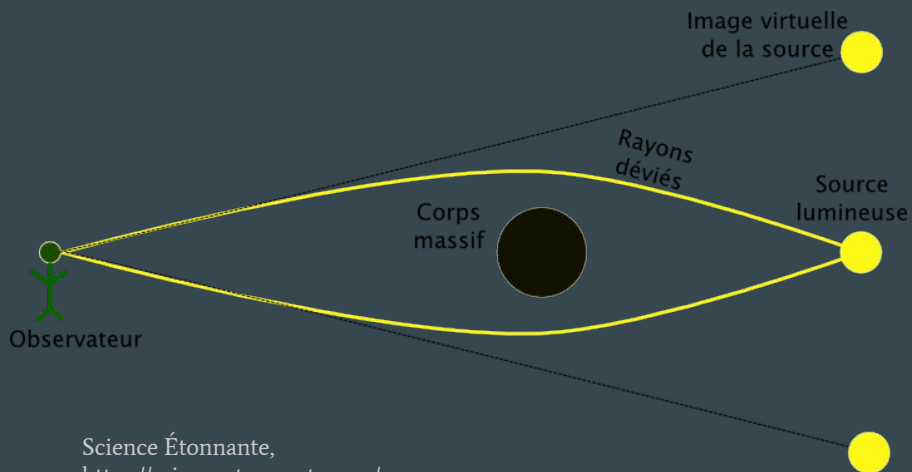
GW150914

Temps (s)

Mesure

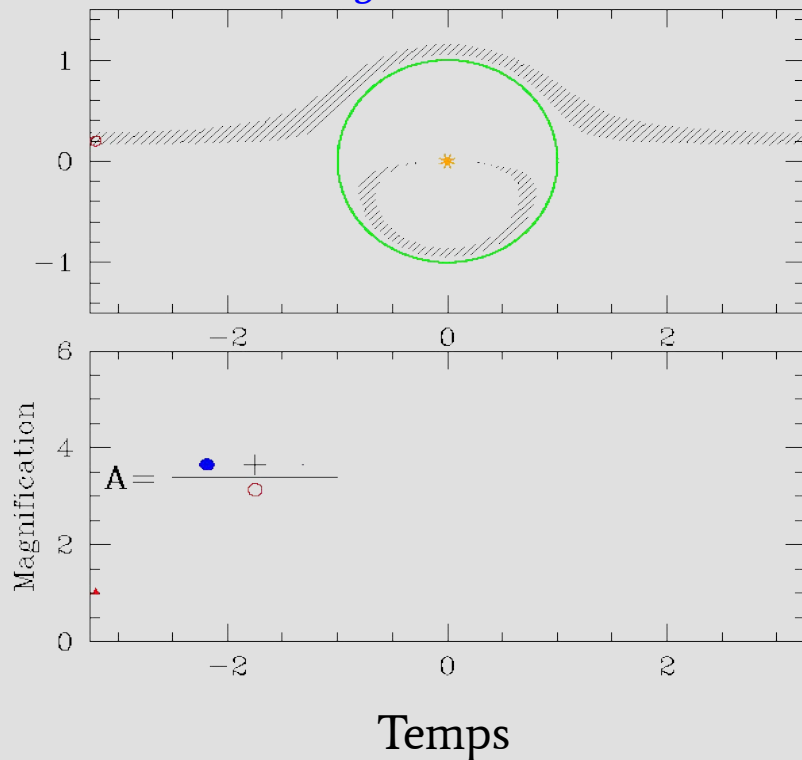
**Et si il n'y a rien autour du
trou noir ?**

Méthode 5 : Lentillage gravitationnel



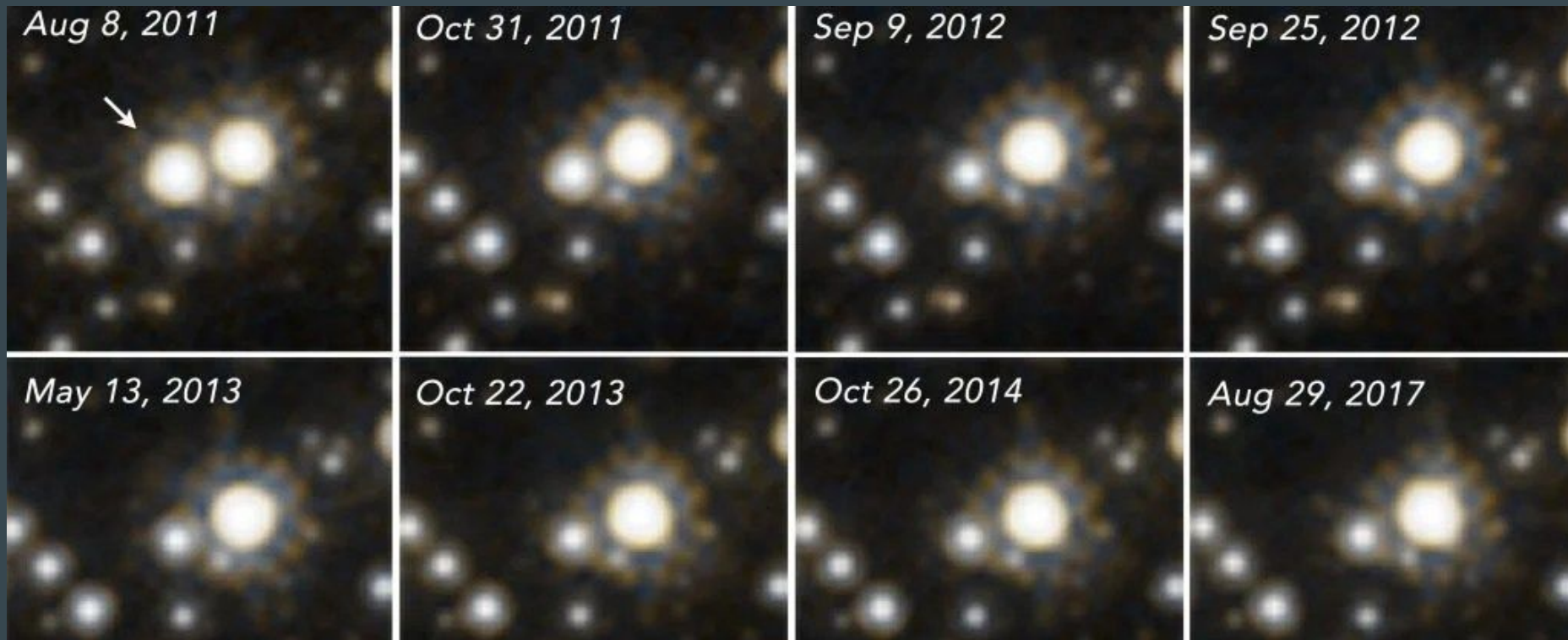
Science Étonnante,
<https://scienceetonnante.com/wp-content/uploads/2010/12/lentille-1.png>

- Trou noir
- Position de la source
- Images de la source



Méthode 5 : Lentillage gravitationnel

MOA-2011-BLG-191



Et d'autres encore !

