

# 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

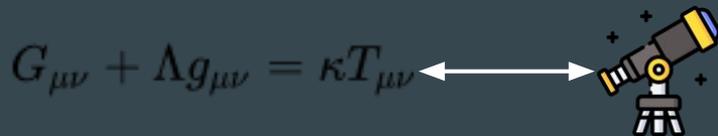
## Pourquoi on veut en voir ?

Pour comparer nos théories et les observations

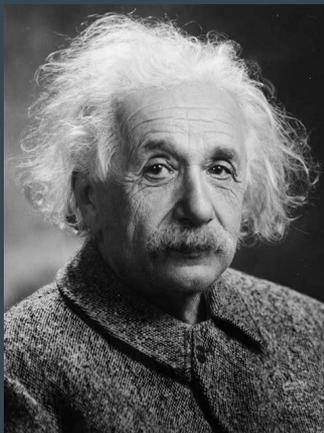
## Combien on en voit ?

~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



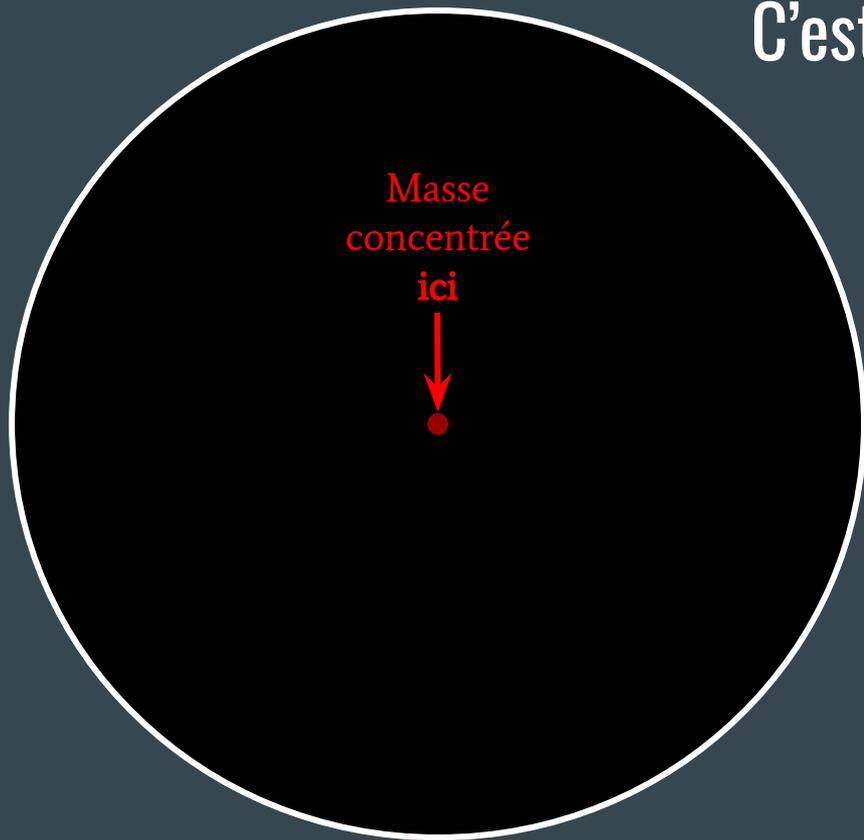
Janvier 1916 - Schwarzschild trouve une solution dont les trous noirs sont conséquence

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...

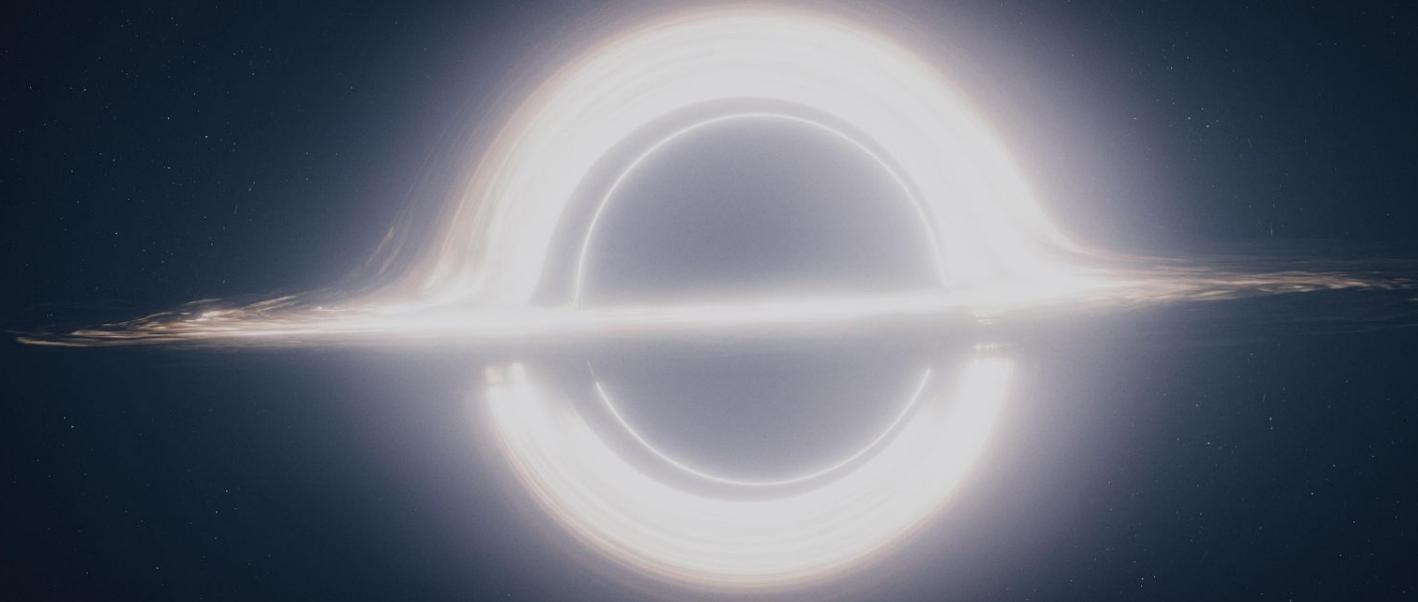
Et un autre objet ?

Il faut une source de lumière  
annexe pour la voir !



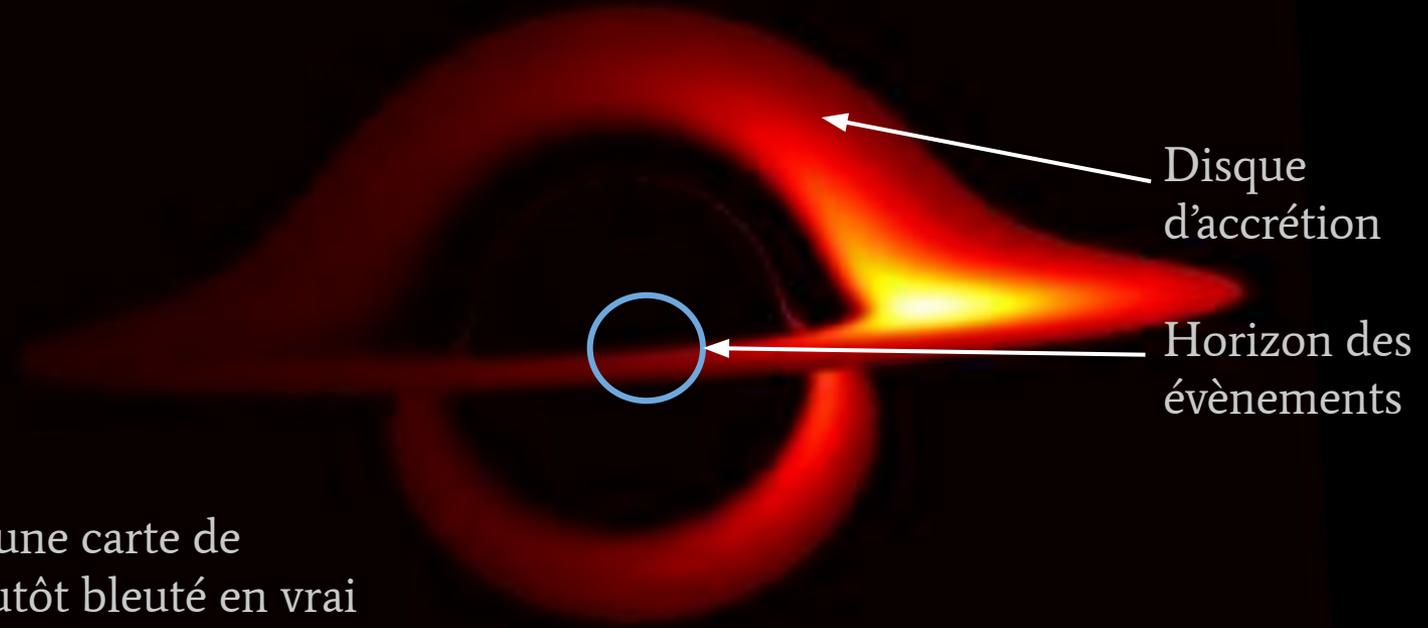
**Ça ressemble à quoi en vrai ?**

# Selon Nolan



Interstellar, Christopher Nolan, 2014

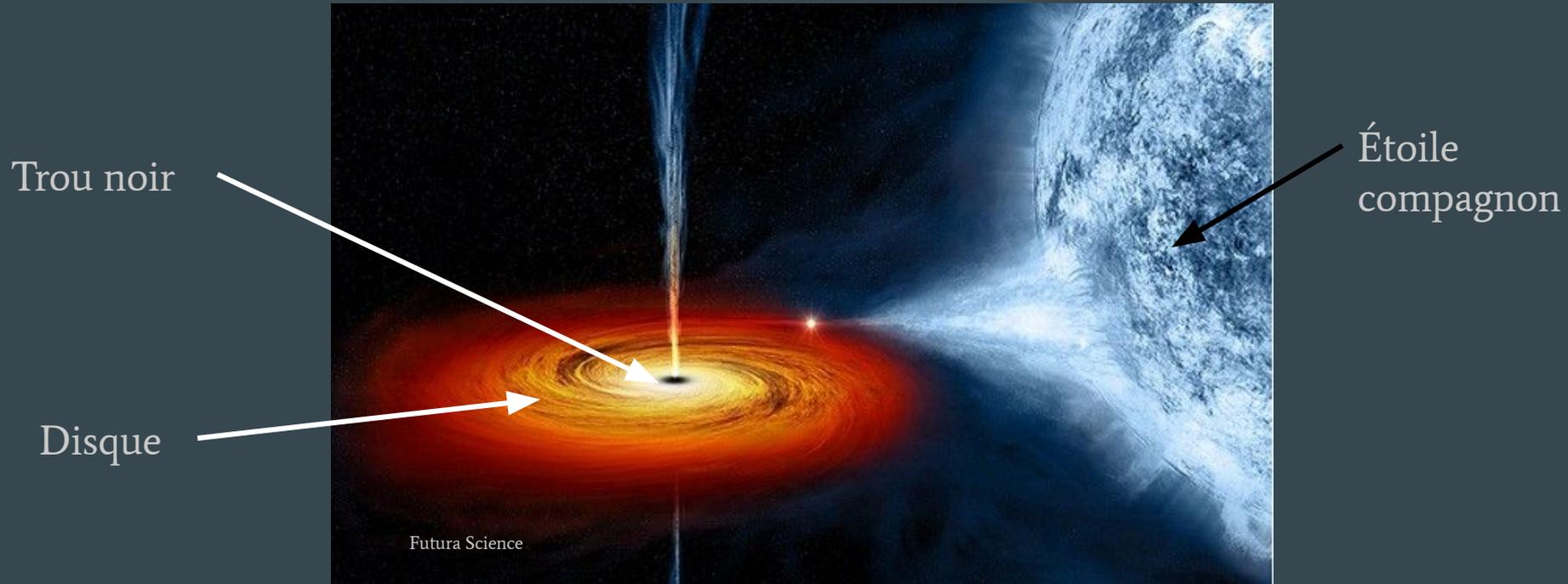
# Pas si loin !



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

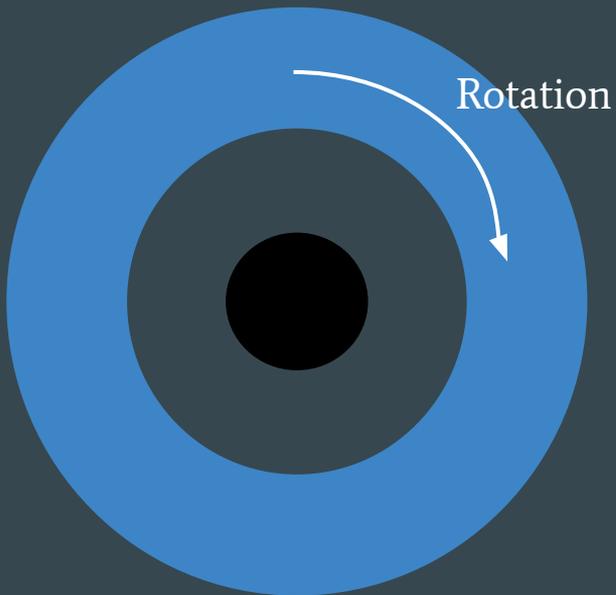
Mais on voit quoi ?

# D'où vient le gaz ?



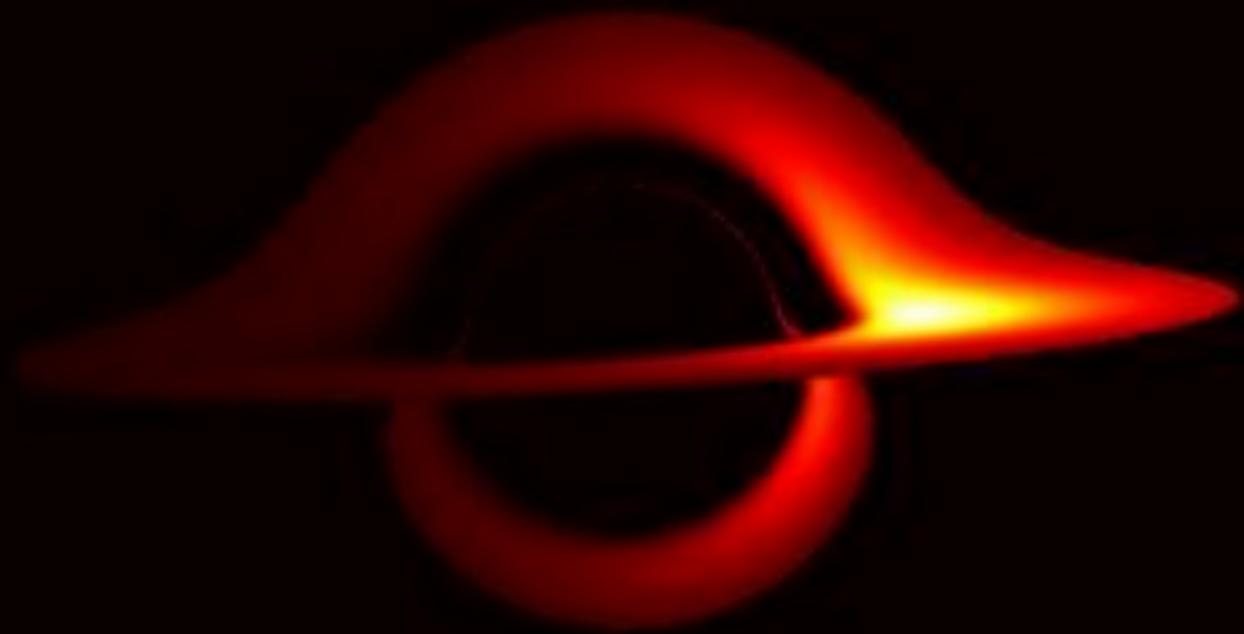
# Qu'est ce qu'on voit alors ?

Vue d'en haut

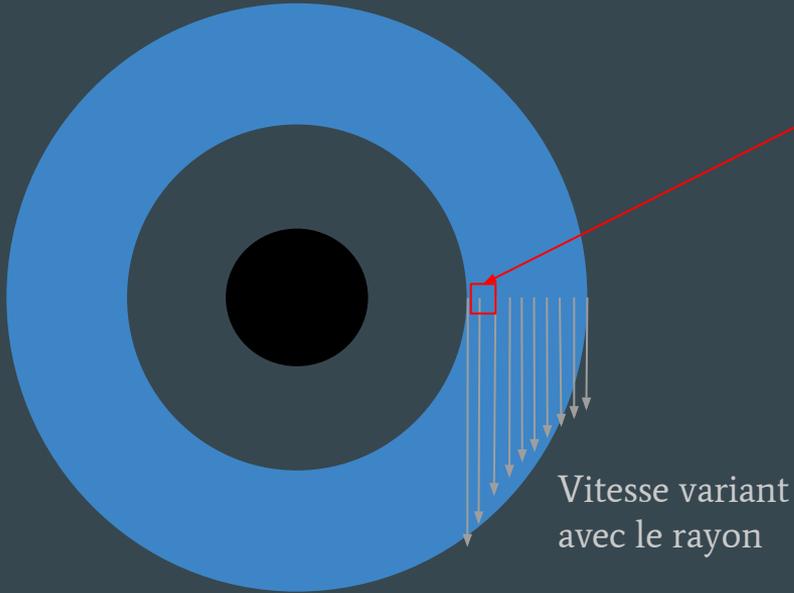


Vue de côté

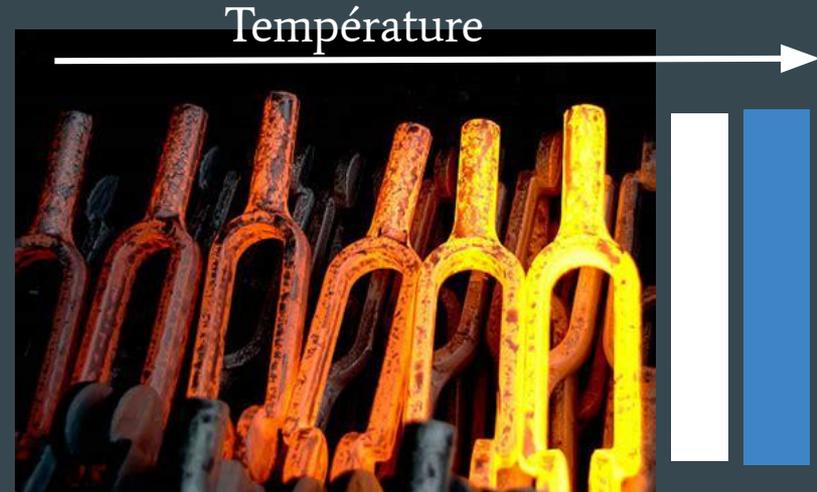
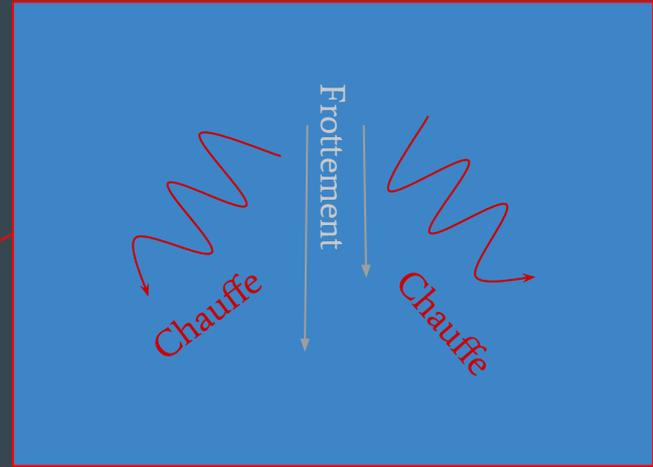


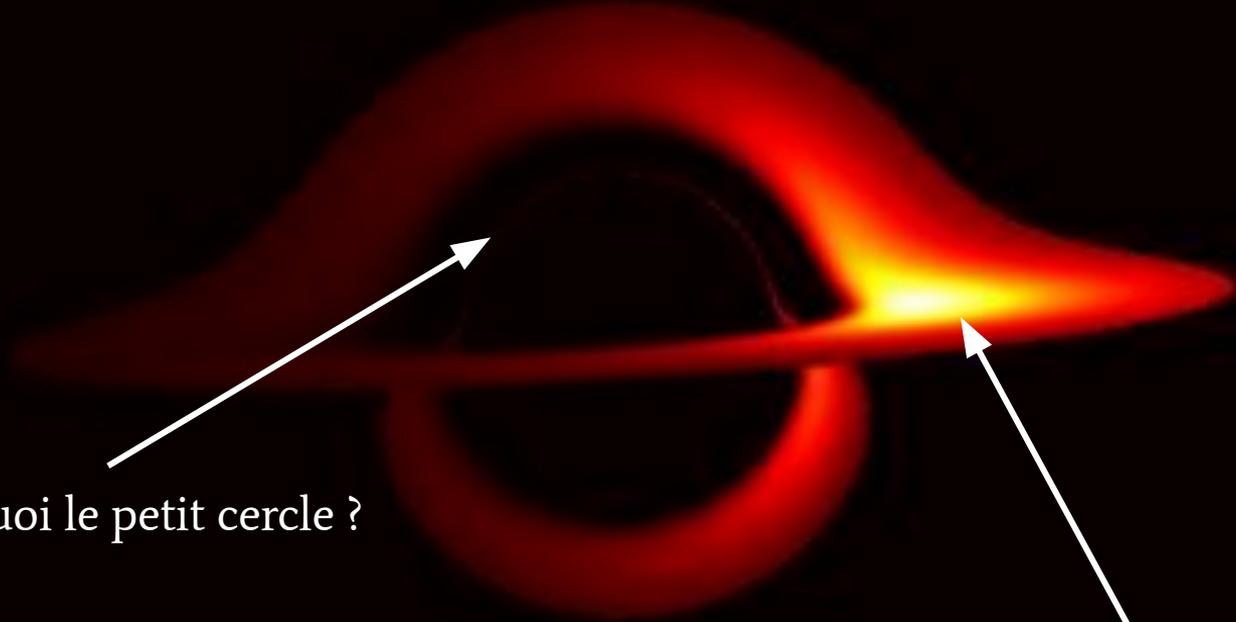


# Qu'est ce qu'on voit alors ?



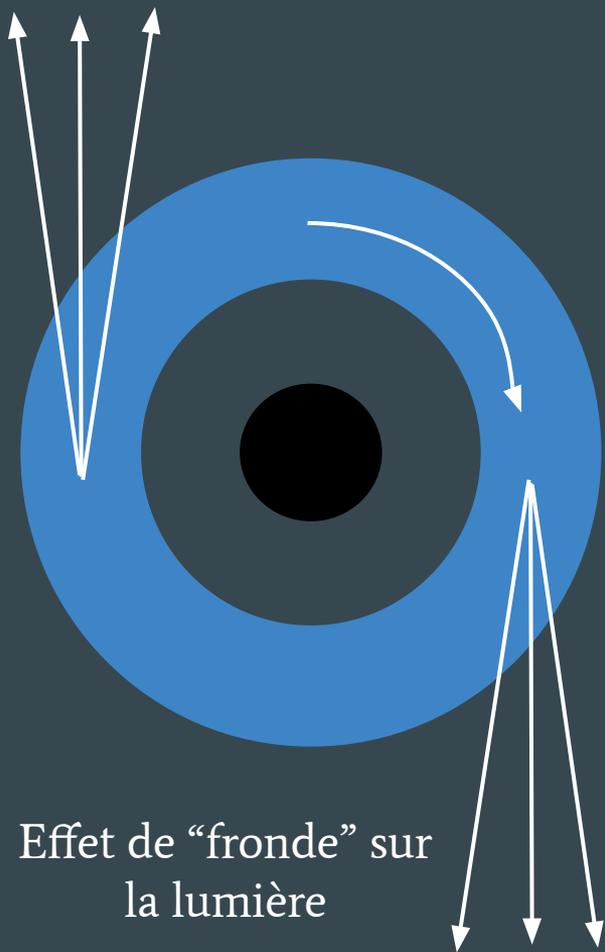
On voit le gaz chaud (1 million de degrés),  
distordu par le trou noir !





C'est quoi le petit cercle ?

Pourquoi c'est plus lumineux ici ?



Effet de "fronde" sur  
la lumière

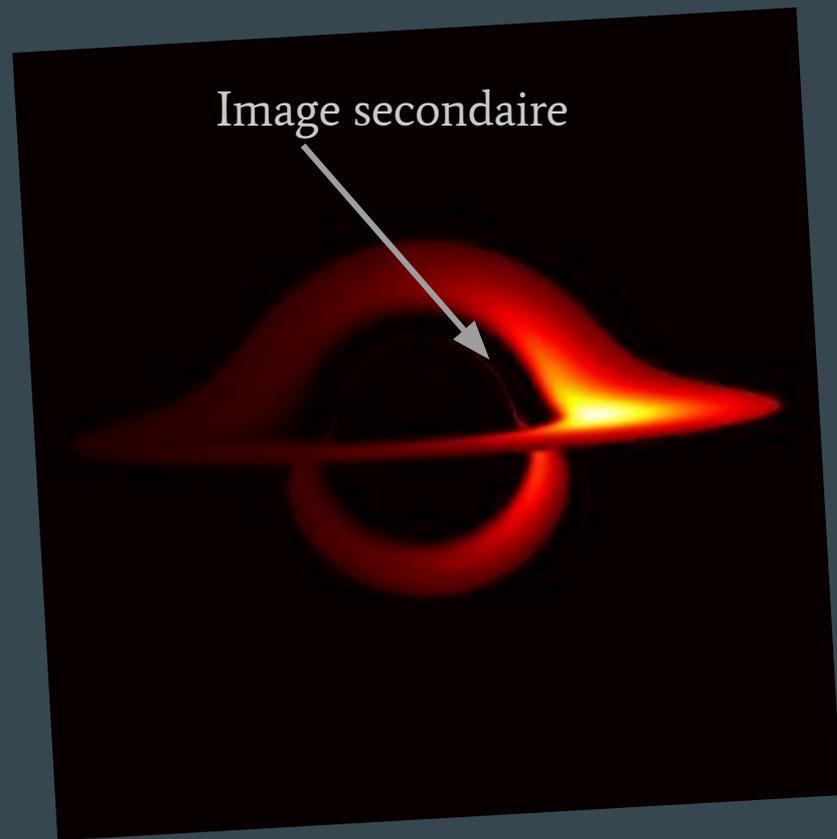


Image secondaire

# 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

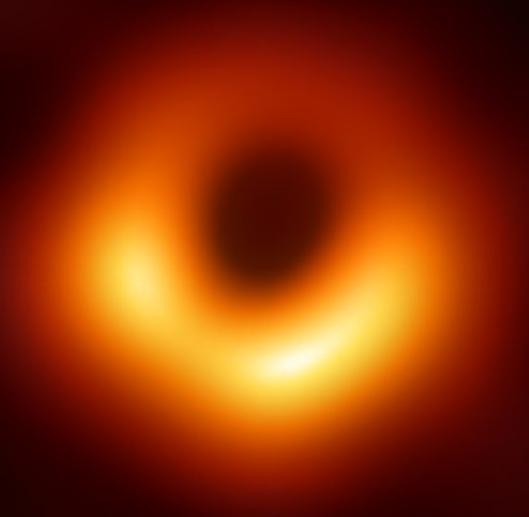
Signature : Émission d'un objet  
chaud en rotation rapide



Vue en rayons X de Cygnus X-3

**Mais on a une image de trou noir, non ?**

## Méthode 2 : Imagerie directe



M87\*

Sgr A\*

Bougie à  
Hong-Kong  
vue de  
New-York

Largeur d'un  
cheveu à  
100m

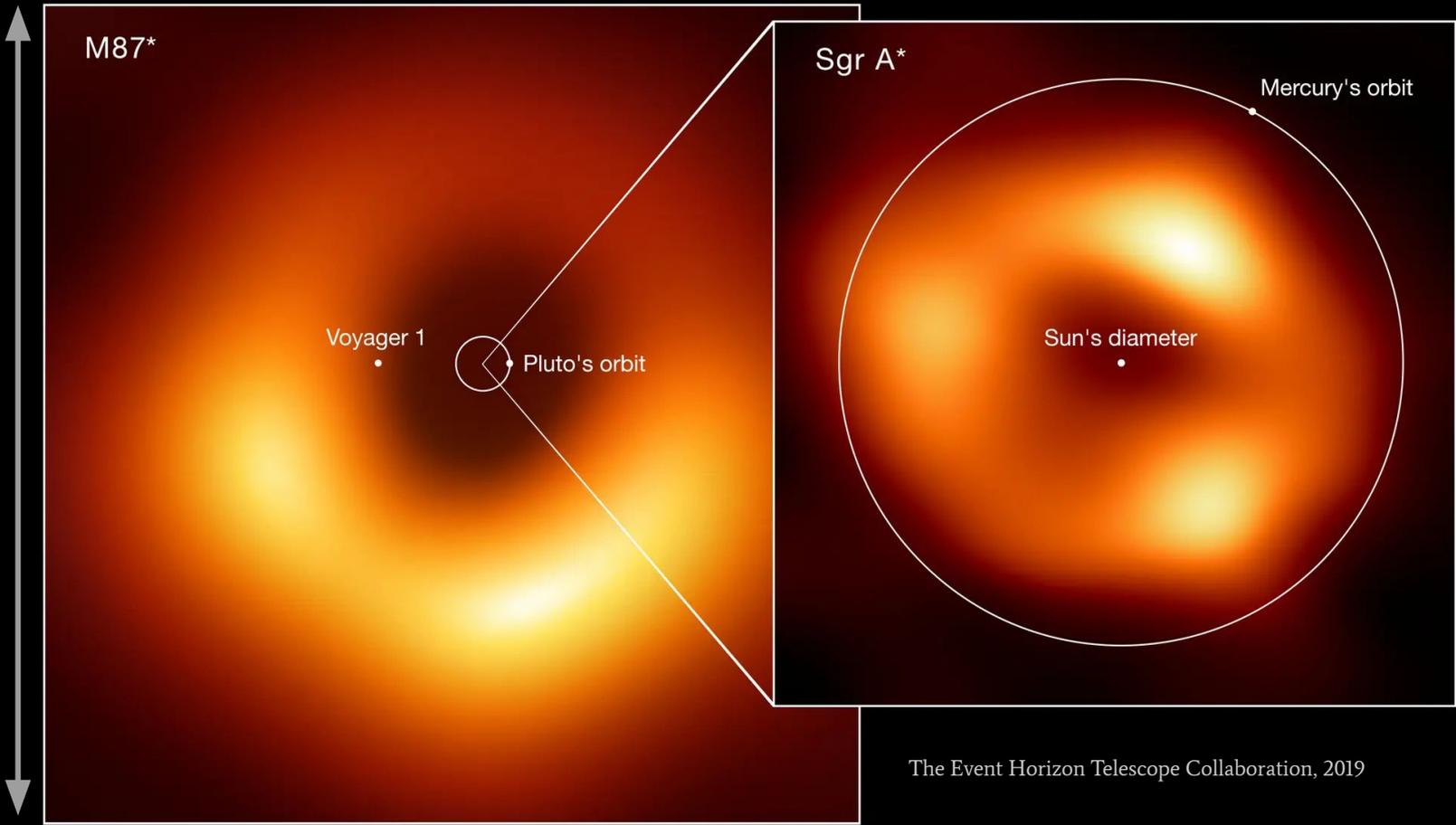
Voyager 1

Pluto's orbit

Sun's diameter

Mercury's orbit

The Event Horizon Telescope Collaboration, 2019



# Comment on fait alors ?



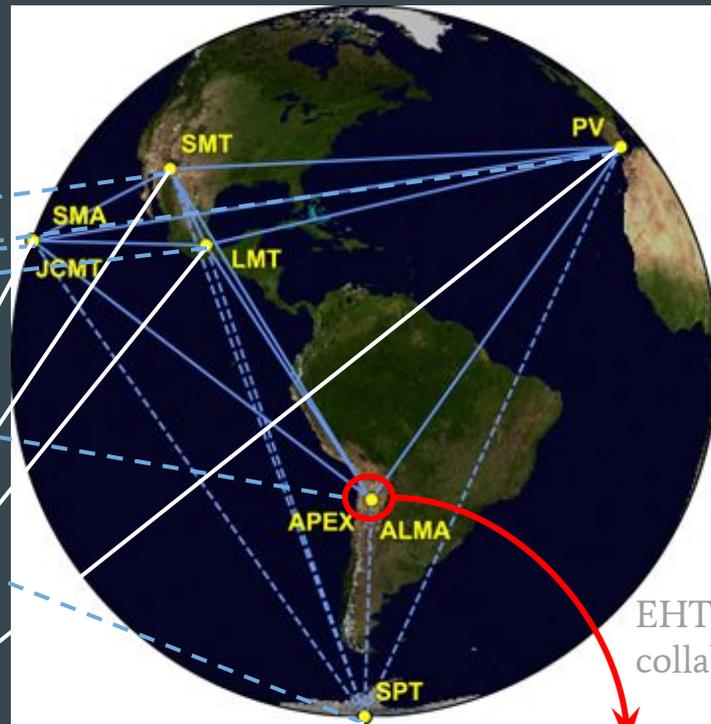
*Magie*



Fusionne



Radio observations



EHT collaboration



**Pas facile facile !**

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

# Méthode 3 : Dynamique des objets



trajecto  
orbite t



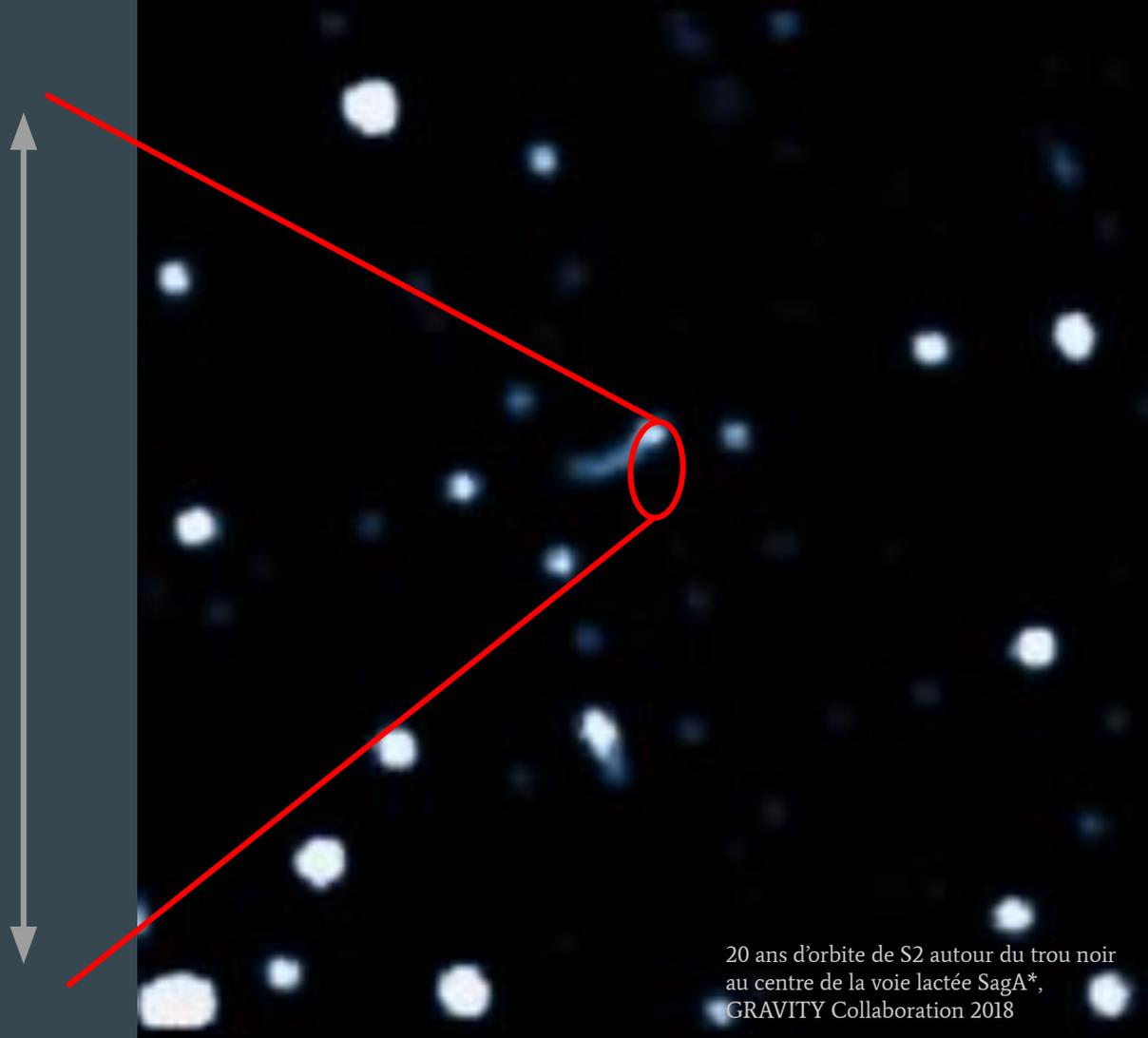
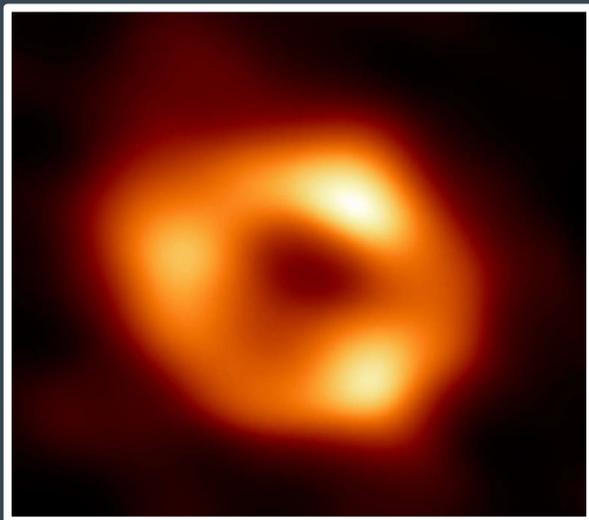
Les proportions  
des distances q



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

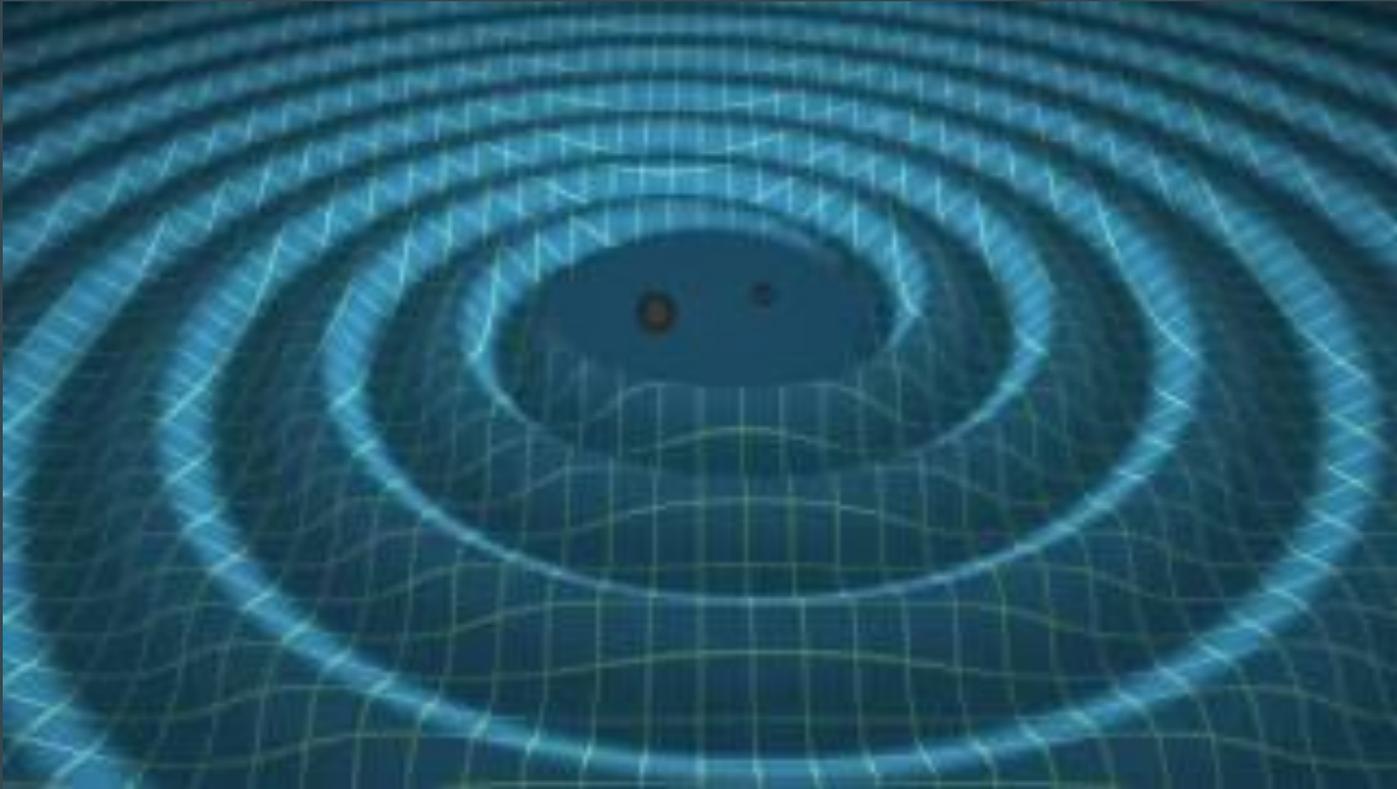
# Méthode 3 : Dynamique des objets

1000x SagA\*

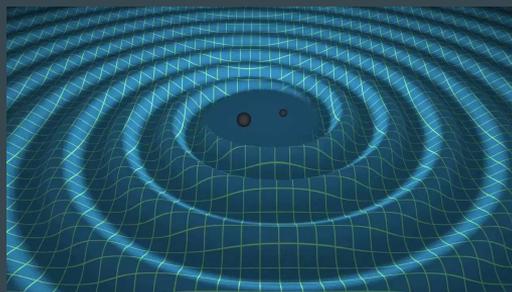
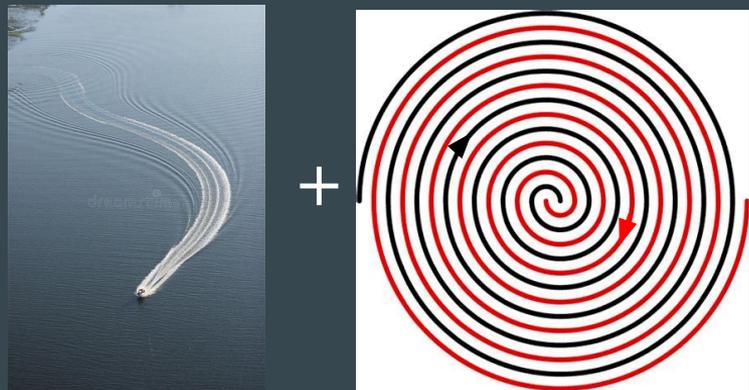


20 ans d'orbite de S2 autour du trou noir  
au centre de la voie lactée SagA\*,  
GRAVITY Collaboration 2018

## Méthode 4 : Ondes gravitationnelles



# Méthode 4 : Ondes gravitationnelles

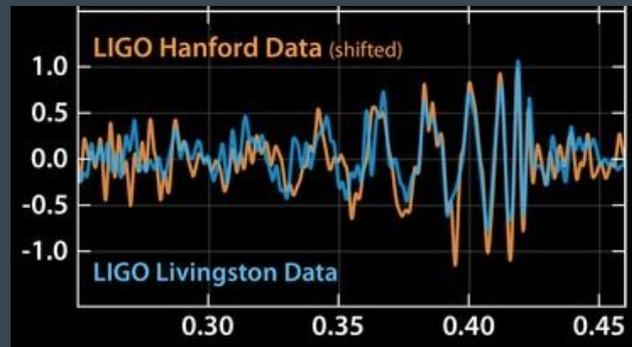


Propagation



LIGO Observatory

Déplacement

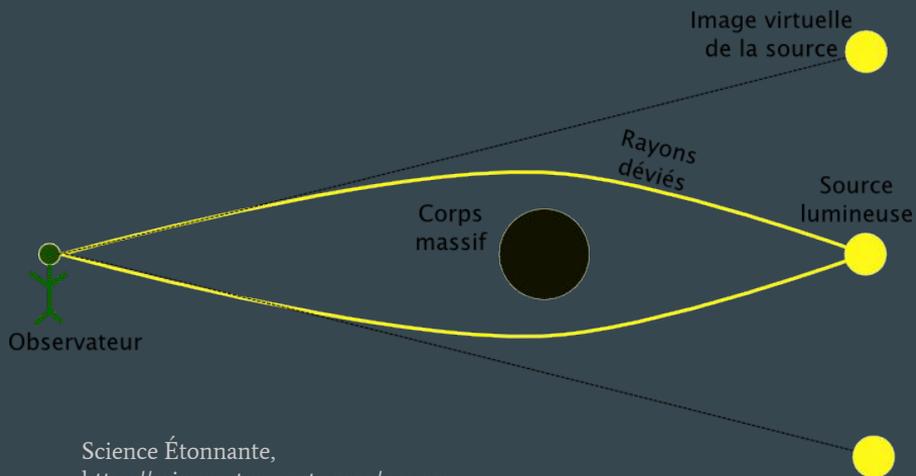


Temps (s)

Mesure

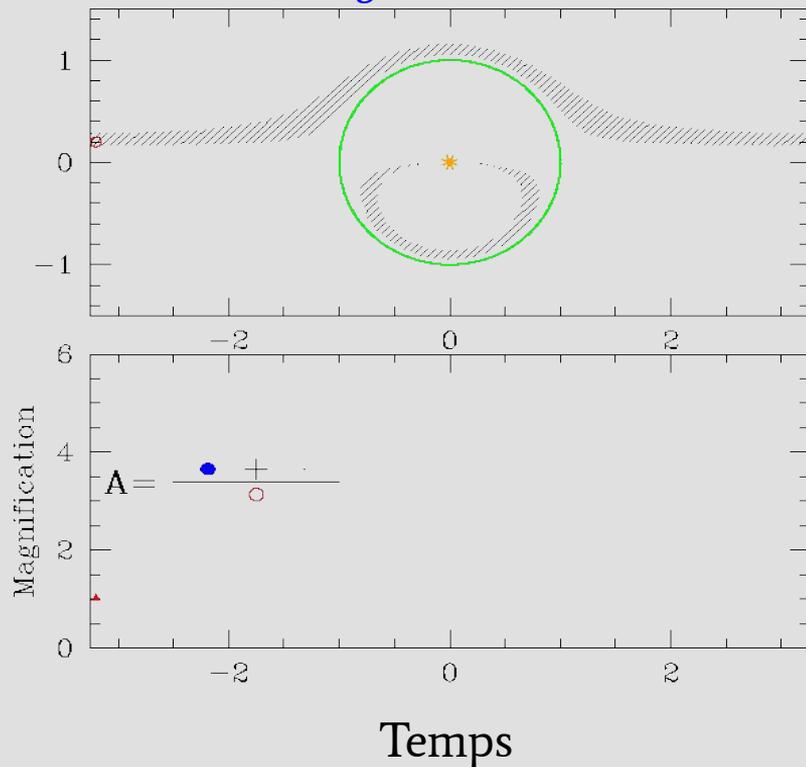
**Et si il n'y a rien autour du  
trou noir ?**

# Méthode 5 : Lentillage gravitationnel



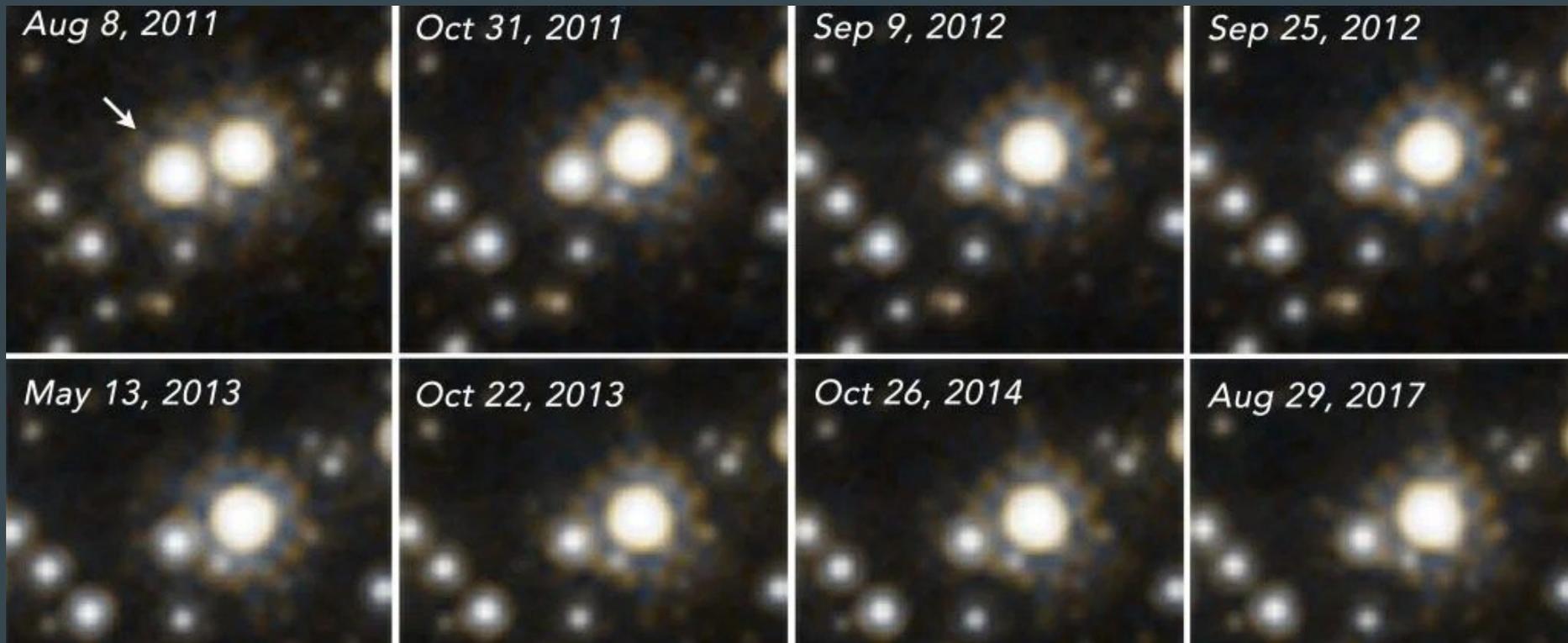
Science Étonnante,  
<https://scienceetonnante.com/wp-content/uploads/2010/12/lentille-1.png>

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



# Méthode 5 : Lentillage gravitationnel

MOA-2011-BLG-191



**Et d'autres encore !**

