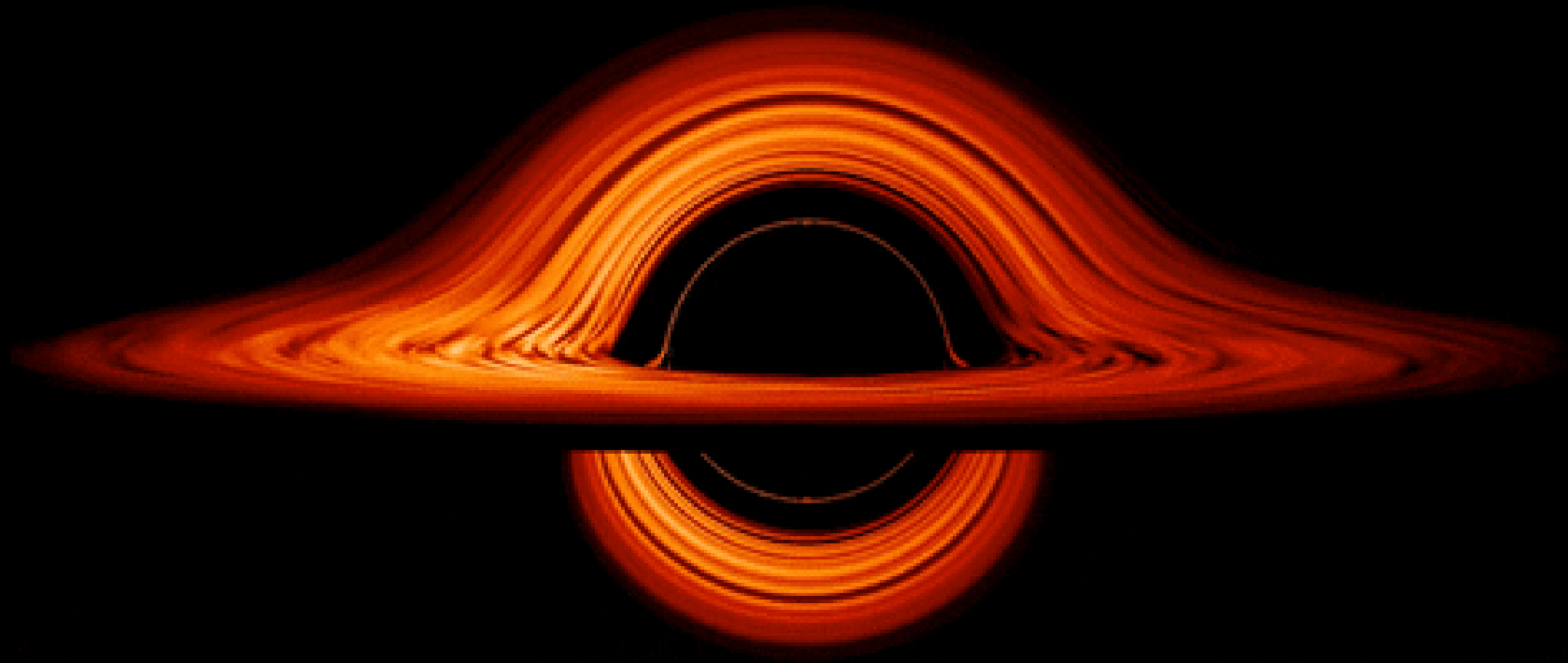
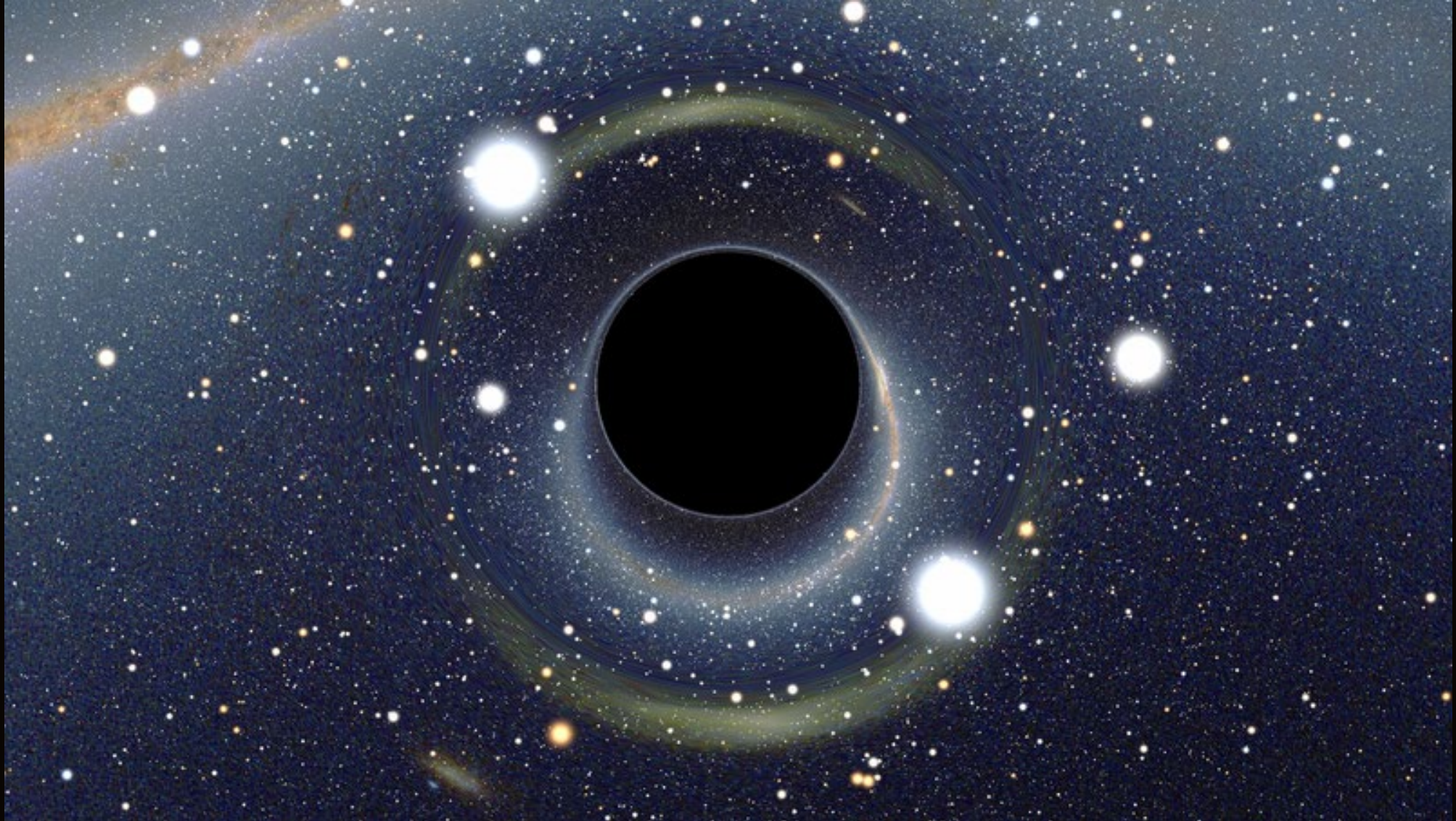


# Plongée au cœur des trous noirs



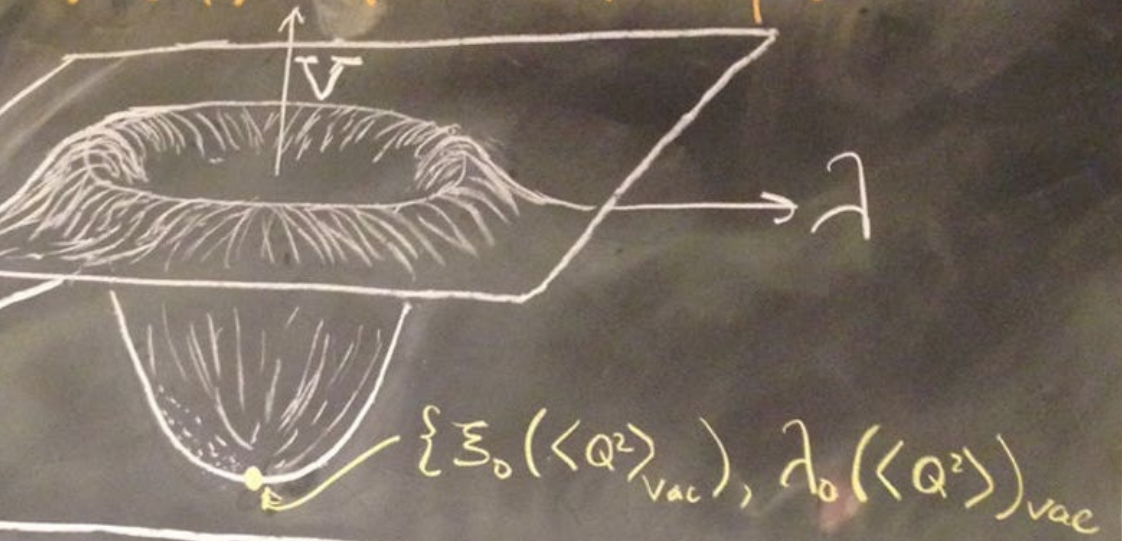
Simulation numérique d'un trou noir en mouvement (NASA - 2019)

Qu'est ce qu'un trou noir ?





$$V(\psi) = (-1 + \psi^2) \exp(-\psi^5/5)$$



cks moduli to  $\Xi = \Xi_0(\langle Q^2 \rangle_{vac})$   
 $\lambda = \lambda_0(\langle Q^2 \rangle_{vac})$ . I HOPE!

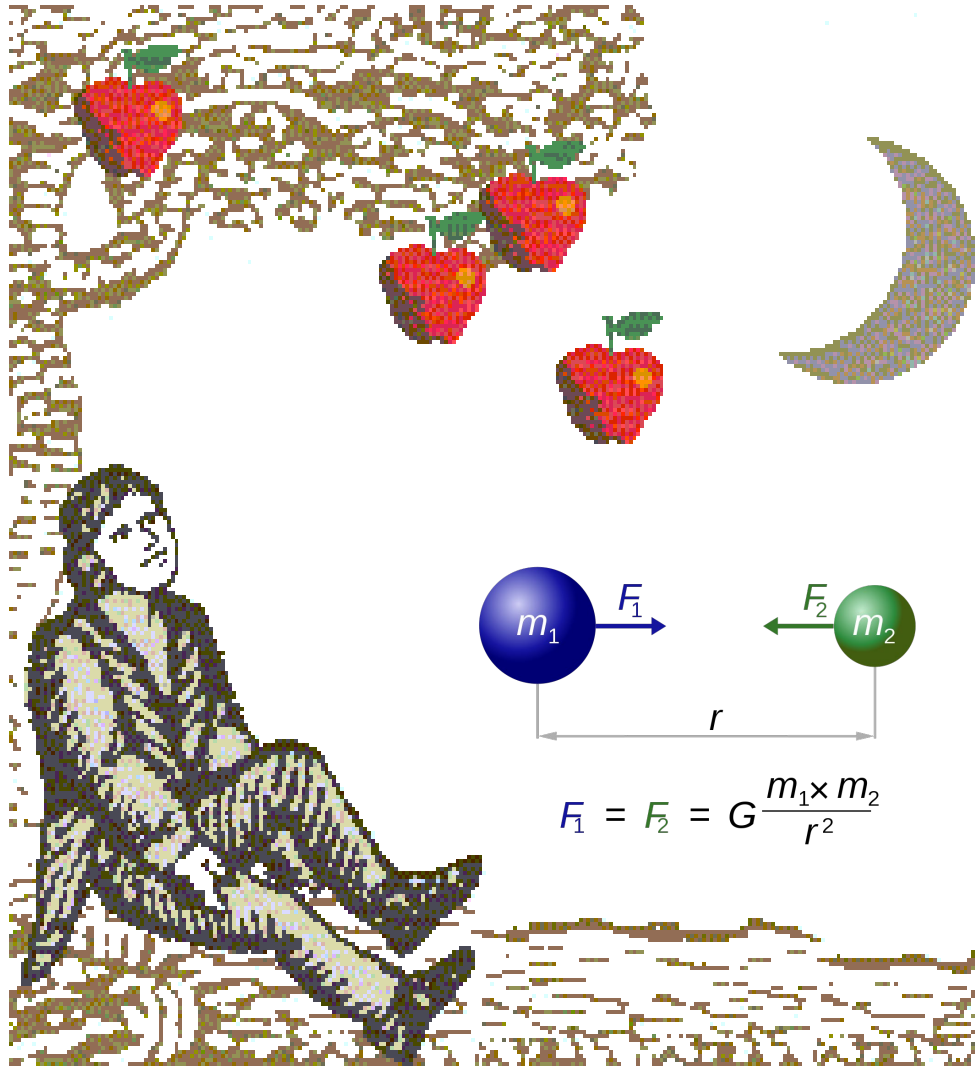
ne  $\mathcal{L}^2$  brane similar to  $\mathcal{L}^0$  brane  
 cept tensions are  $\lambda_1 = \lambda_2 = -\lambda$

ATIVE TENSION! DANGEROUS  
 T NECESSARY!

1

# Les trous noirs à travers l'histoire

# Isaac Newton et la gravitation universelle



Loi de la gravitation universelle (1687)

## Vitesse de libération & vitesse de la lumière

**TERRE** 11km/s ~40 000km/h

**LUNE** 2,5km/s ~9 000km/h

**JUPITER** 60km/s ~200 000km/h

**SOLEIL** 600km/s ~2 000 000km/h

**LUMIERE** 300 000 km/s



# Naissance du concept de trou noir



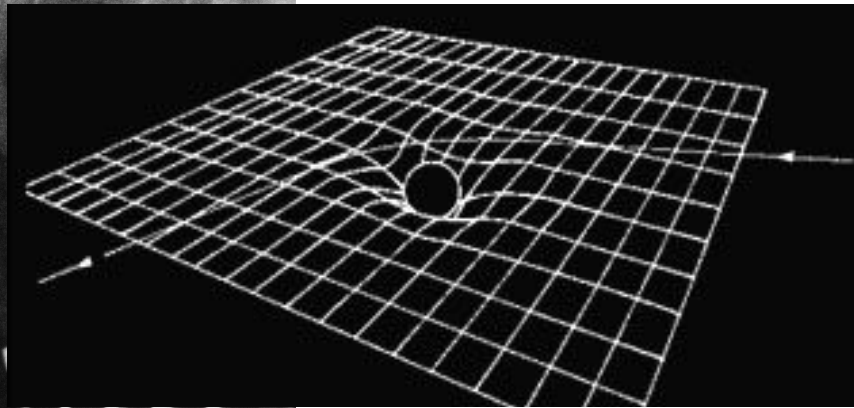
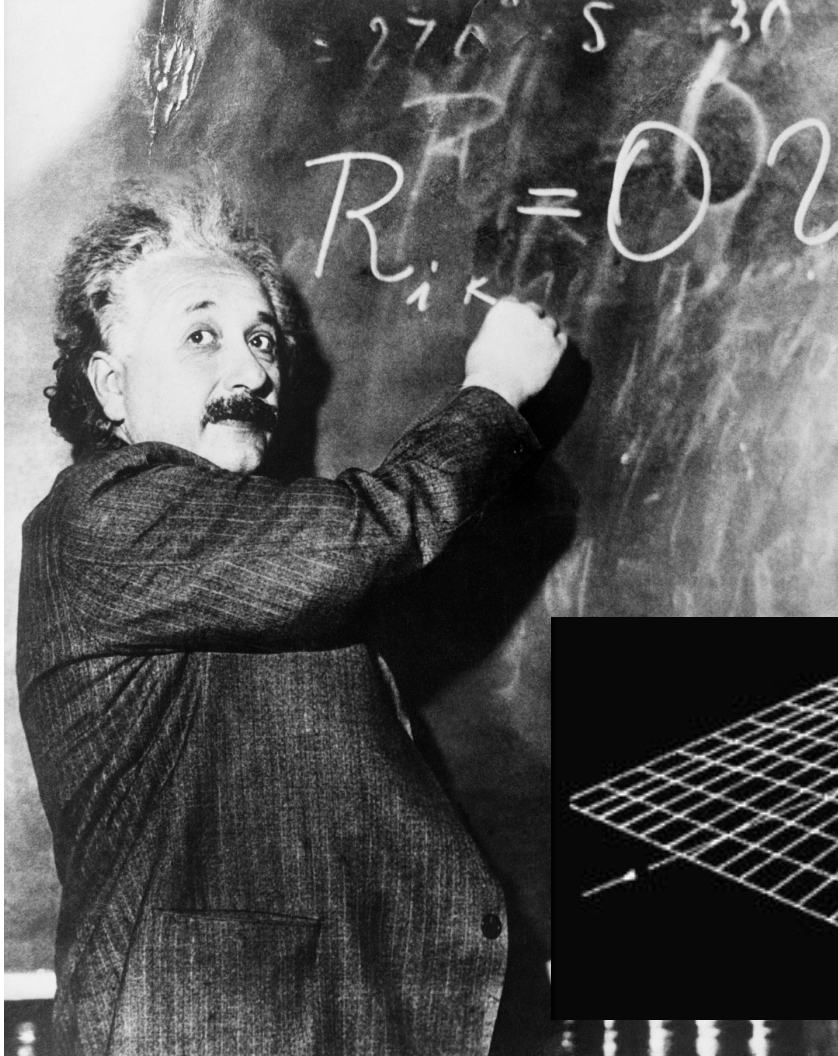
John Michell (1724- 1793)



Pierre-Simon de Laplace (1749-1827)

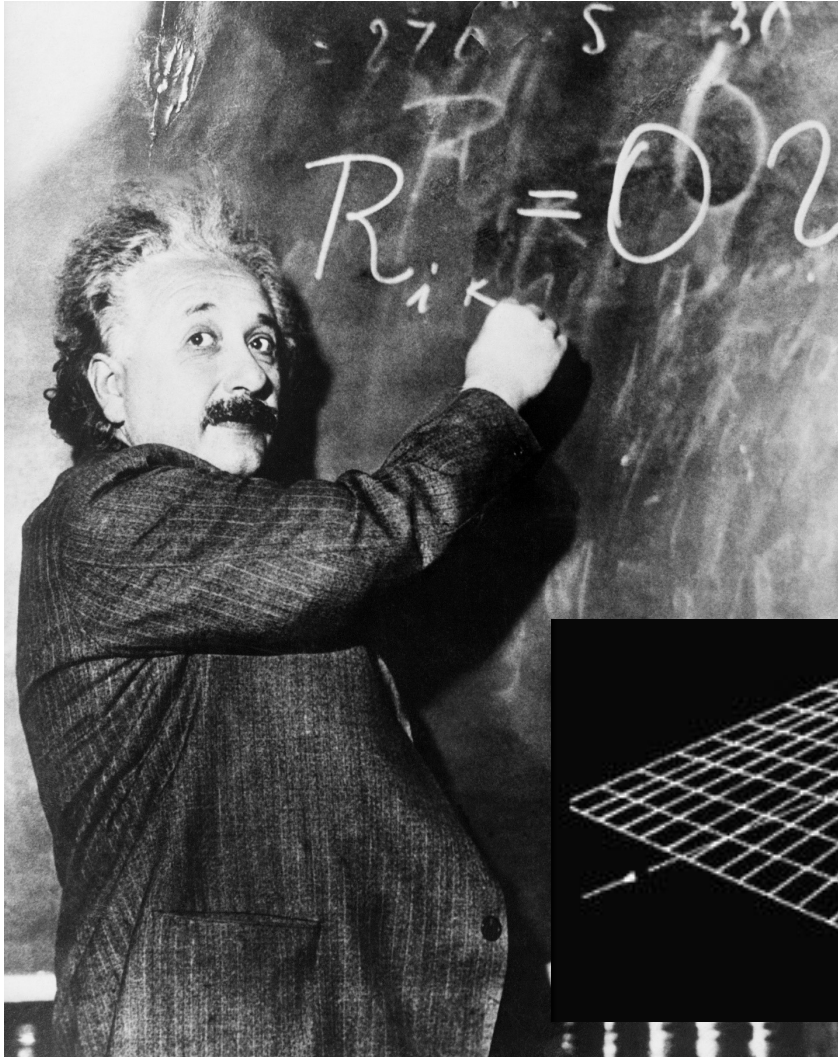


# Albert Einstein et la relativité générale

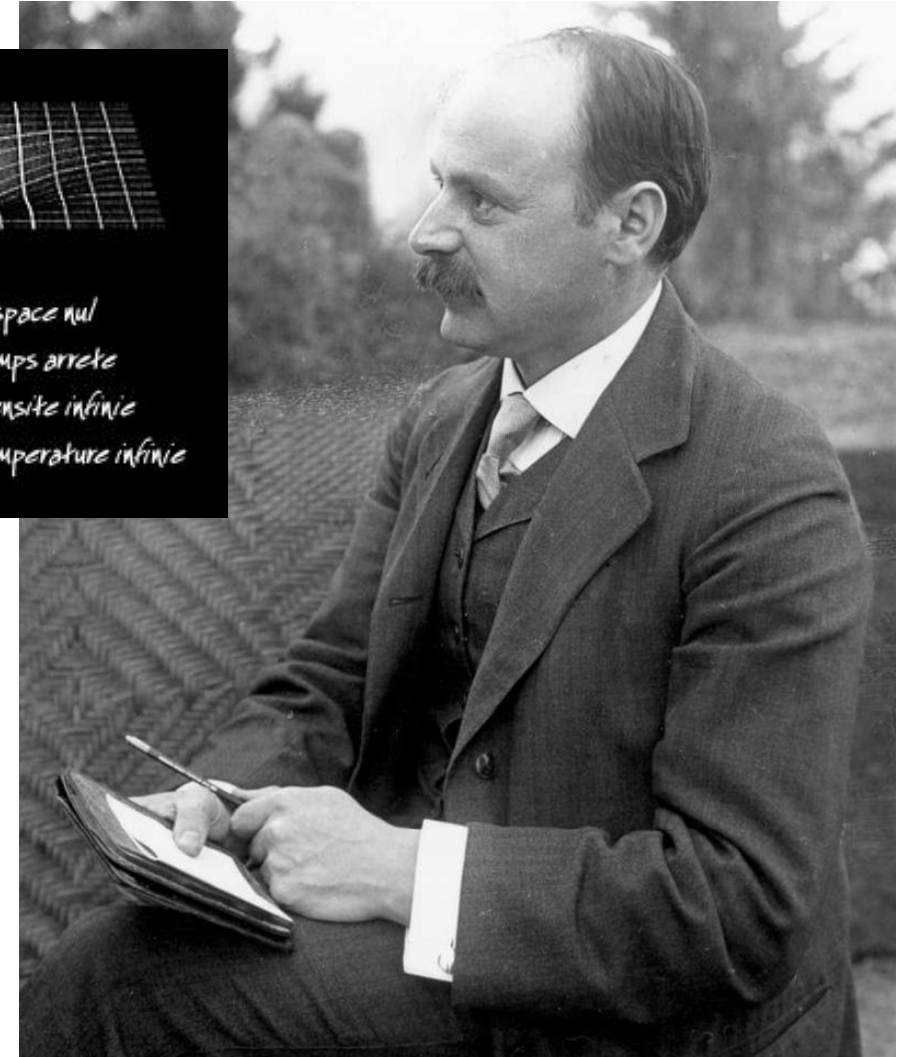
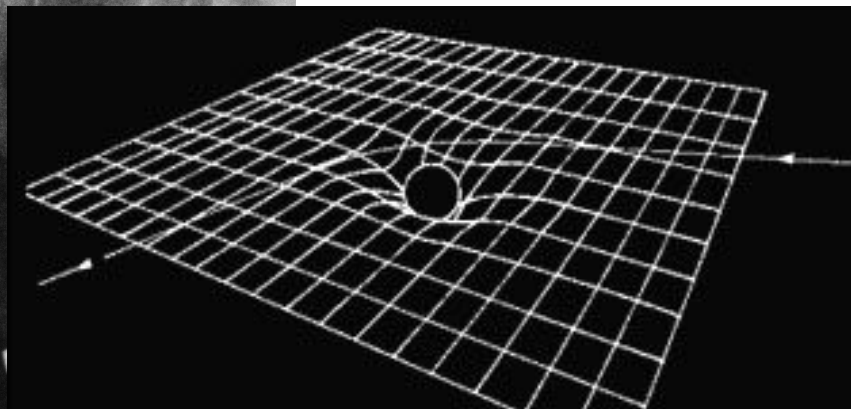
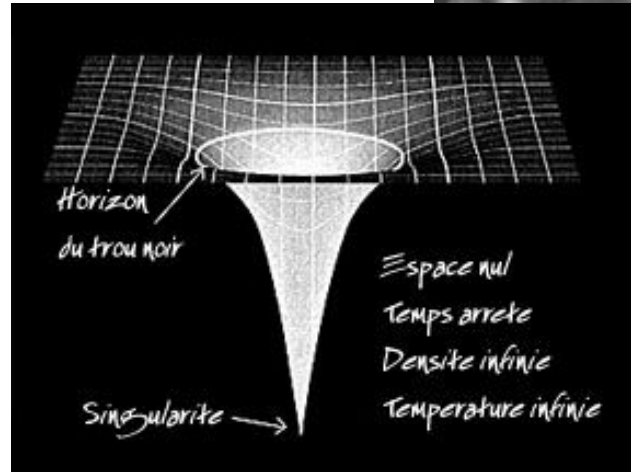


Albert Einstein (1879 - 1955)

# Albert Einstein et la relativité générale



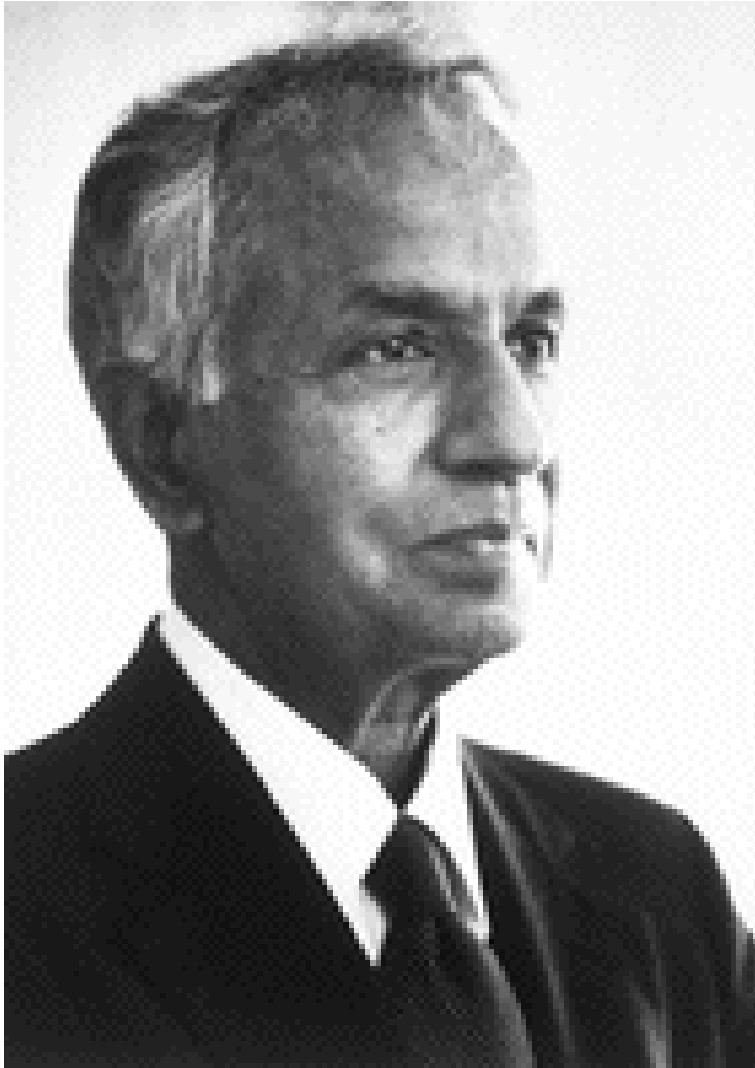
Albert Einstein (1879 - 1955)



Karl Schwarzschild (1873 - 1916)



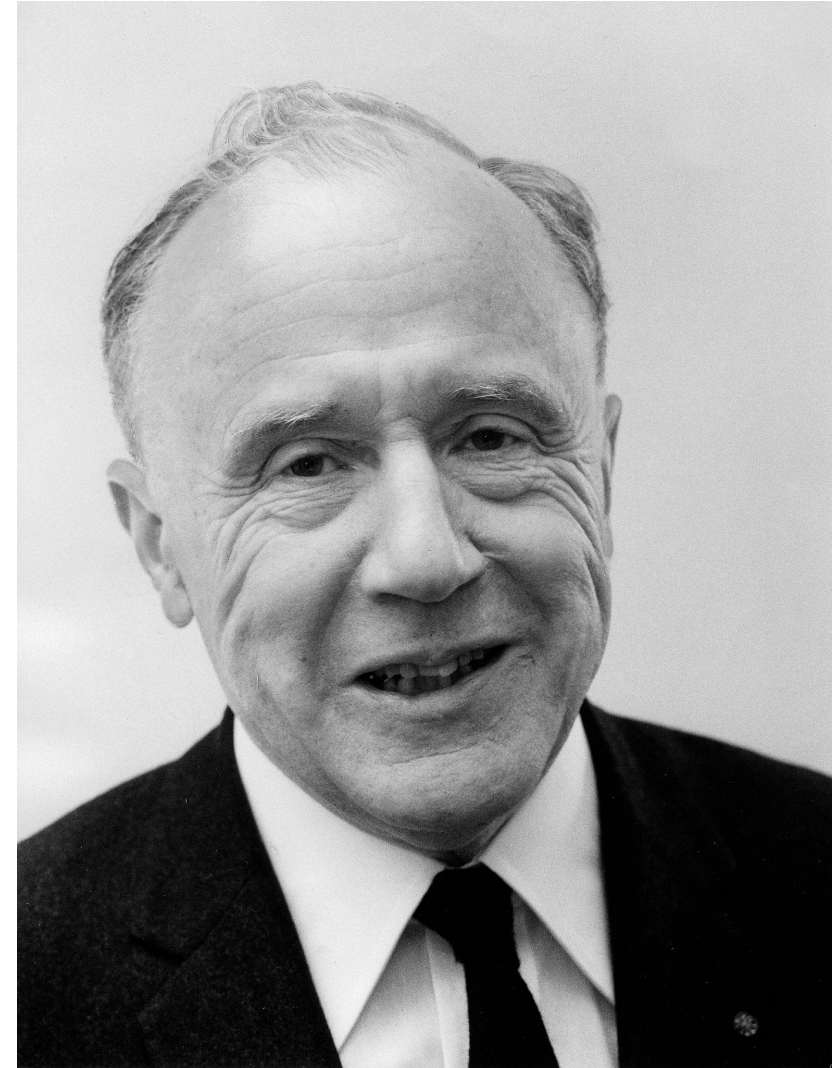
# La théorie des trous noirs prend forme



Subrahmanyan Chandrasekhar  
(1910 - 1995)



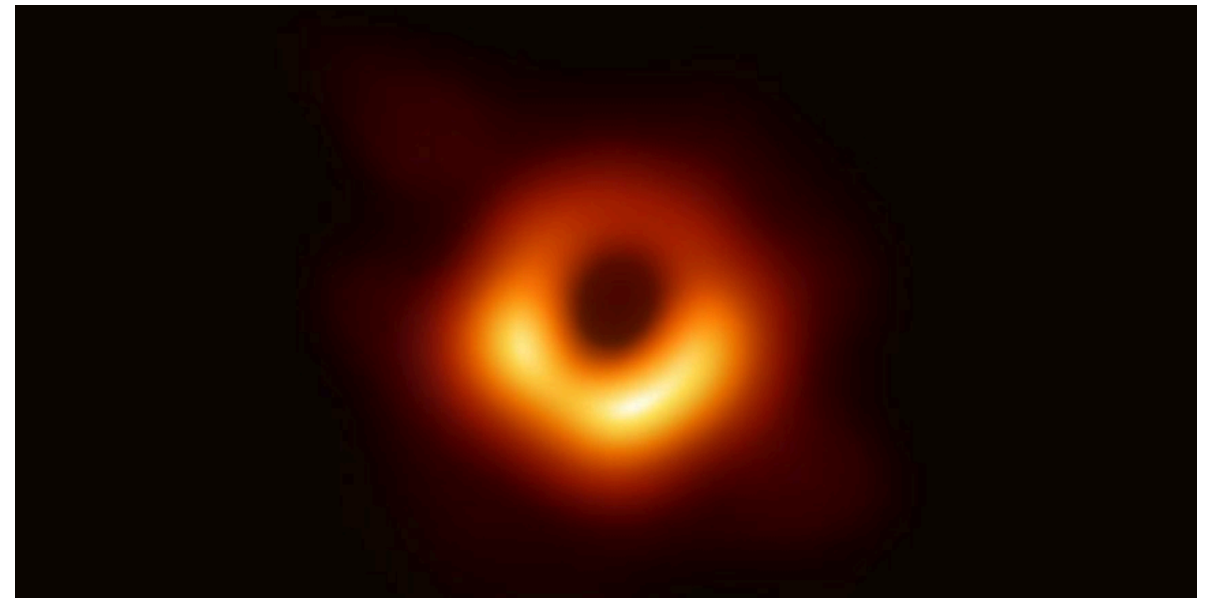
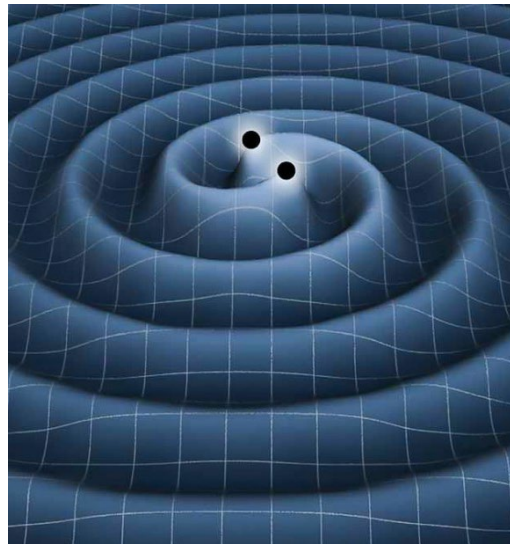
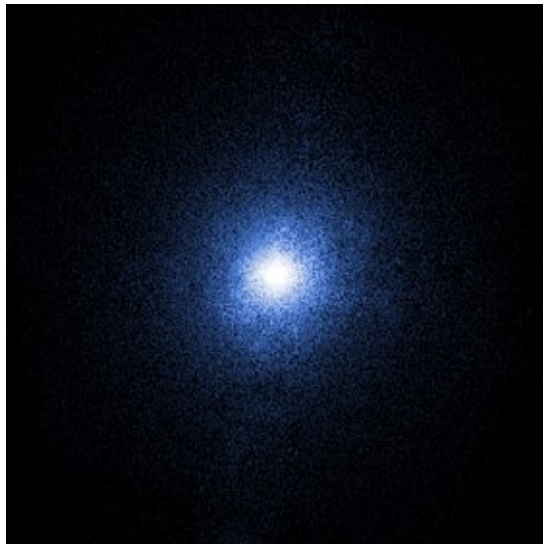
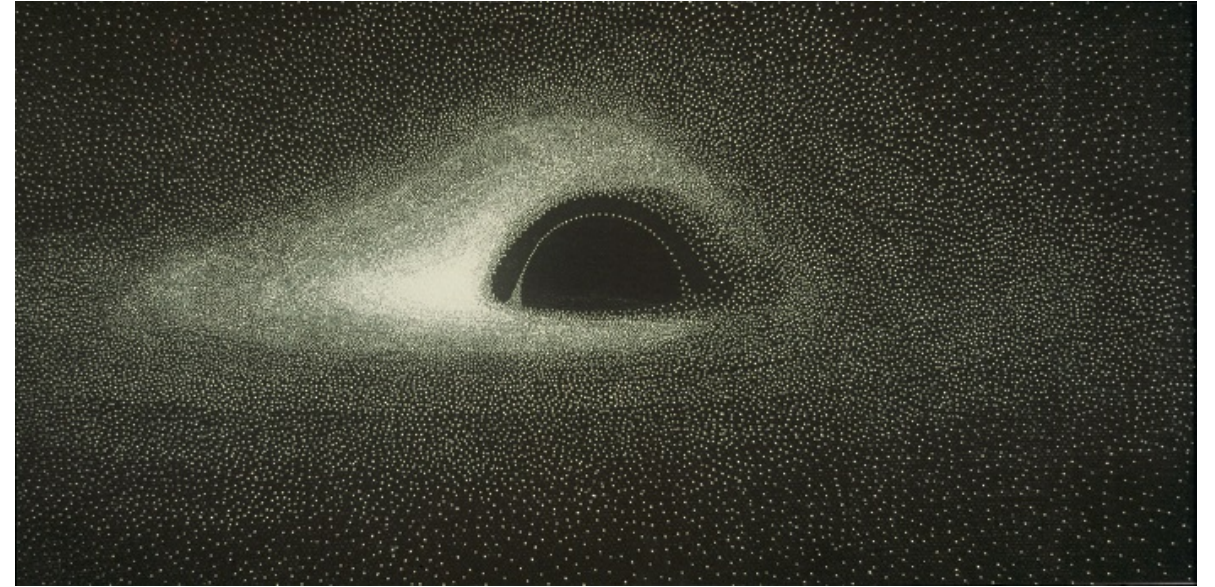
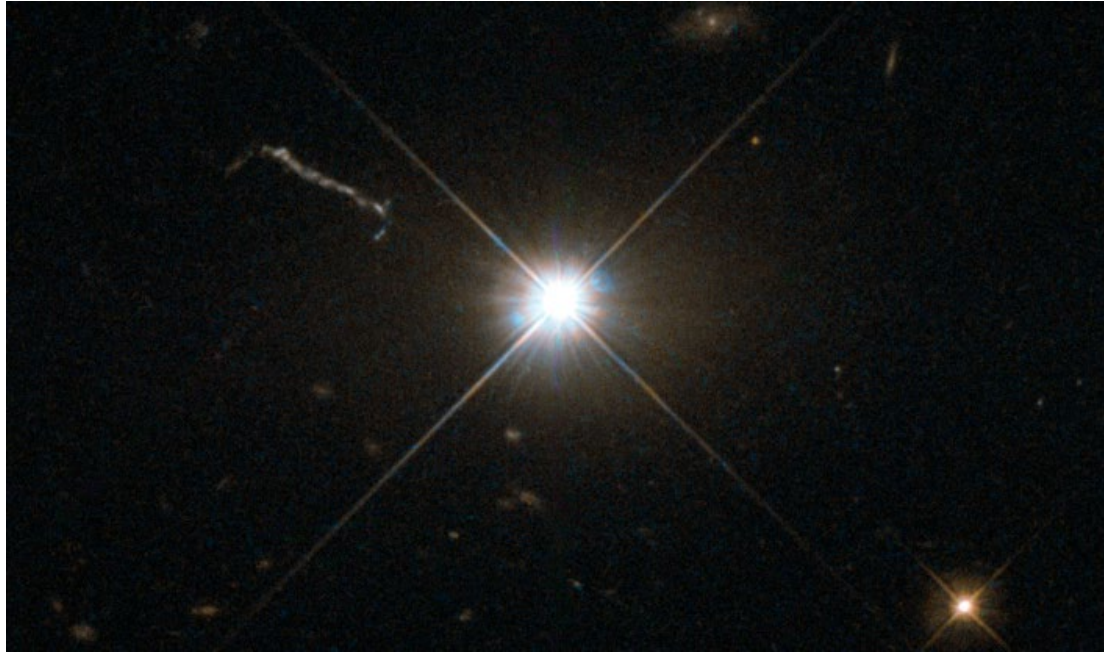
Robert Oppenheimer  
(1904 - 1967)



John Wheeler  
(1911 - 2008)



# De la théorie à l'observation





2

# **Mystérieux trous noirs**



# Anatomie d'un trou noir

Horizon des événements

Singularité

Dernière orbite circulaire stable



Jets relativistes

Sphère de photons

Disque d'accrétion

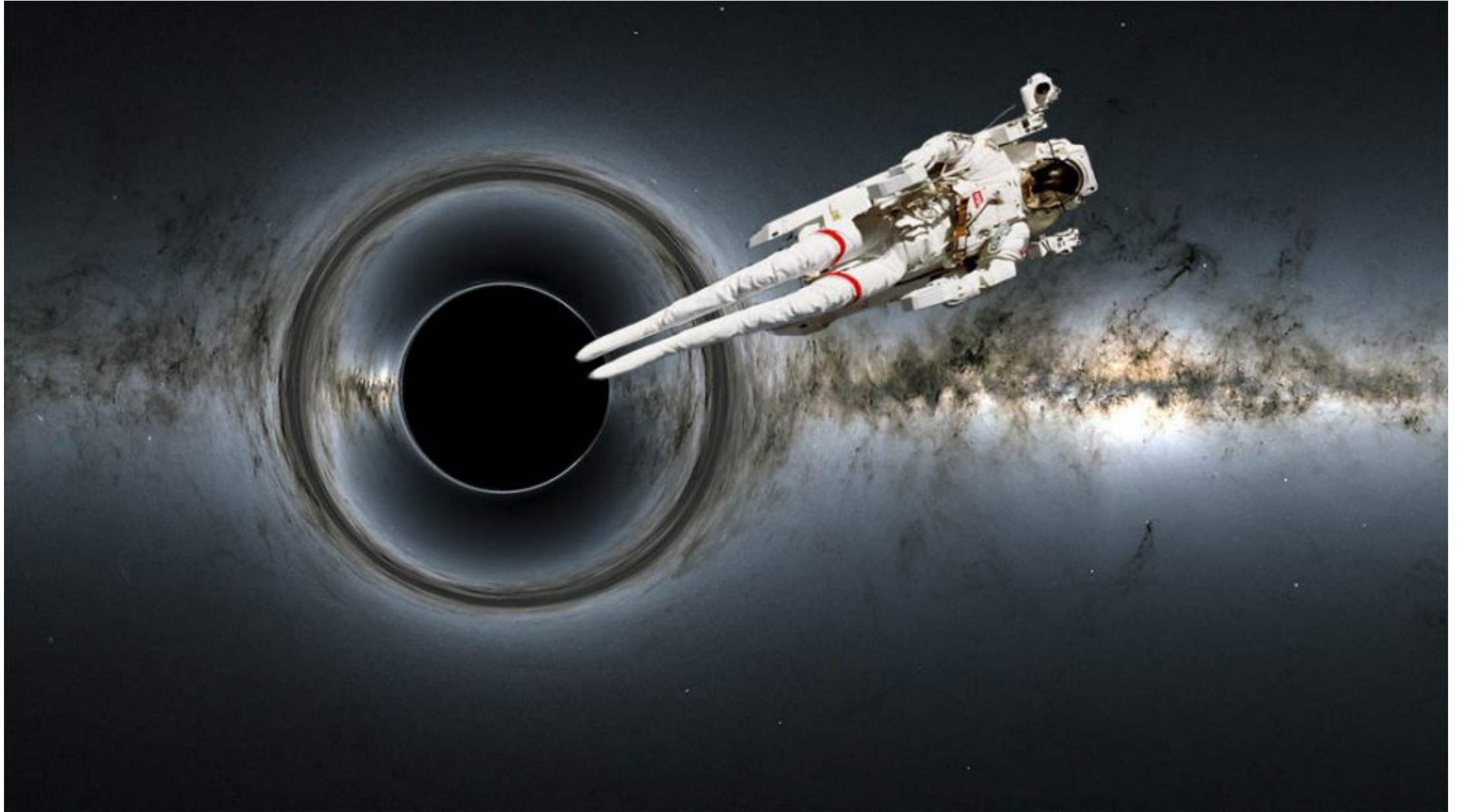


# Dilatation du temps

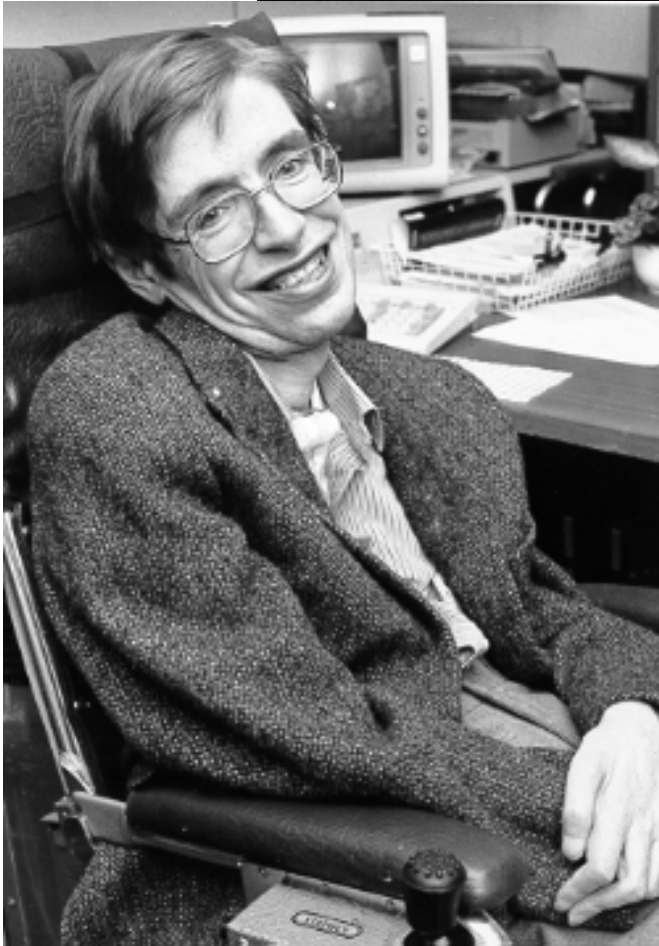




# Effets de marée et spaghettification



# Evolution et évaporation d'un trou noir



Stephen Hawking  
(1942 - 2018)





# Les trous de ver





3

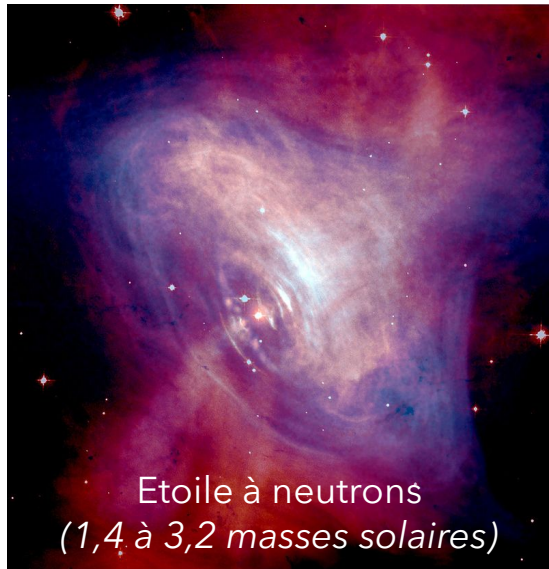
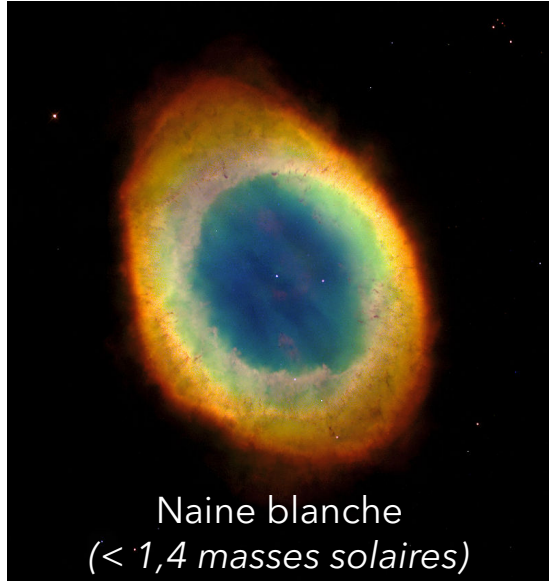
# **La famille des trous noirs**



# Les différents types de trous noirs

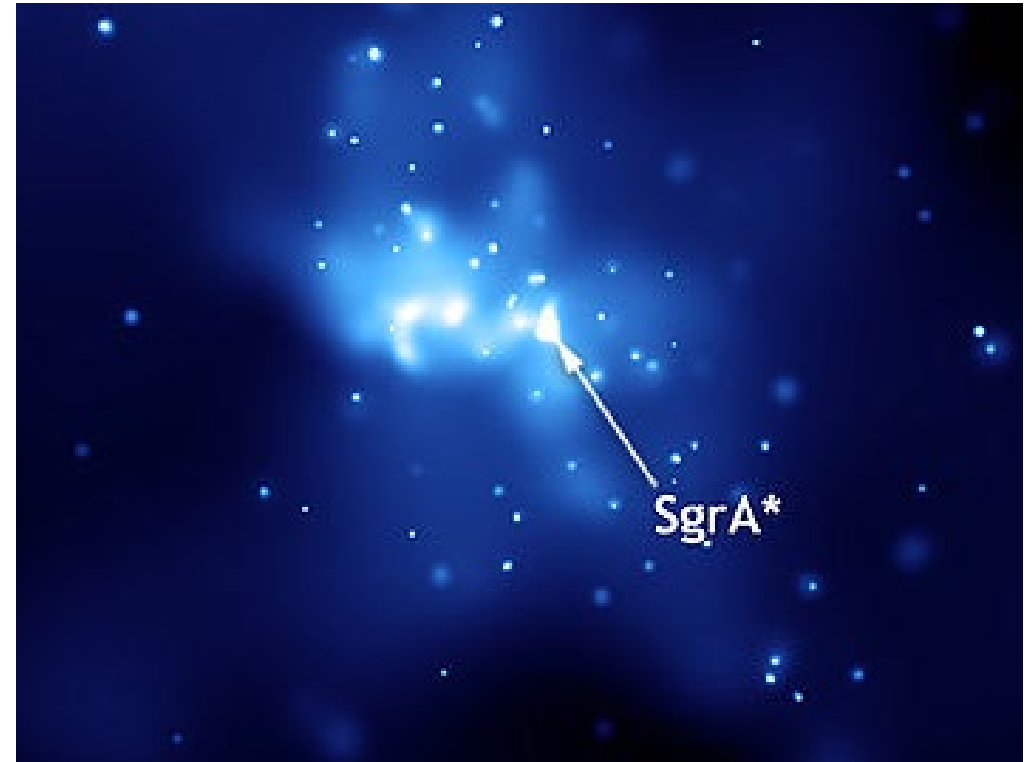
- **les trous noirs primordiaux** (microscopiques)
- **les trous noirs stellaires** (de 3 à 100 masses solaires)
- **les trous noirs intermédiaires** (de 100 à 1 million de masses solaires)
- **les trous noirs supermassif** (au-delà d'un million de masses solaires)

# Les trous noirs stellaires



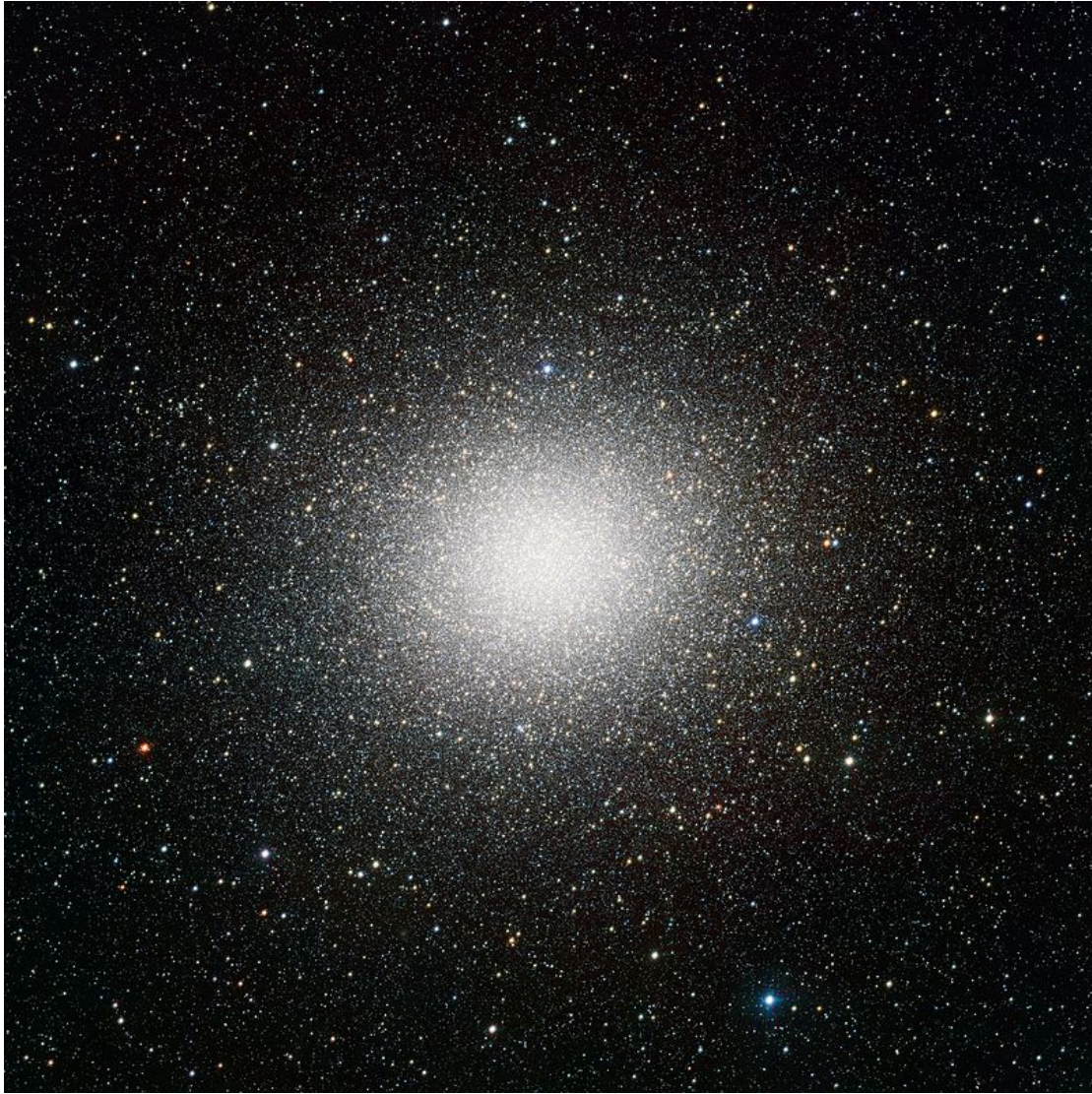


# Les trous noirs supermassifs



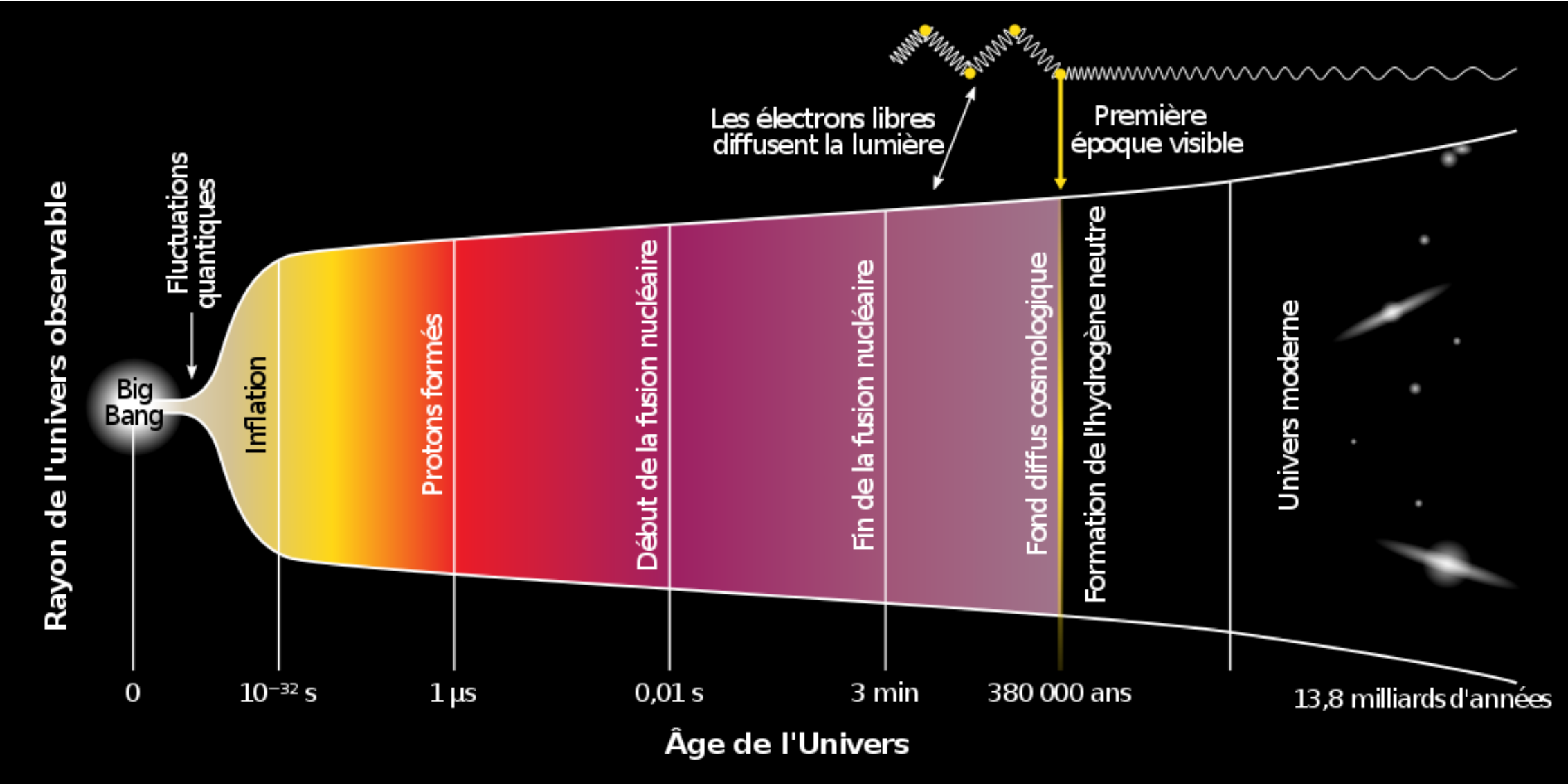


## Les trous noirs intermédiaires





# Les trous noirs primordiaux



# Les trous noirs de la Voie Lactée !

## TROIS TYPES DE TROUS NOIRS DANS LA VOIE LACTÉE... PLUS UN OUTSIDER !



Dès les années 1970 l'existence du trou noir supermassif au cœur de la Voie lactée a été pressentie. Sa masse équivaut à 4 millions de Soleils. Situé dans la direction du Sagittaire, il a été baptisé Sgr A\*.



Distance  
de la Terre :  
6 200 a.-l.

### Cygnus X-1

Le première trou noir stellaire jamais observé est le prototype d'un couple constitué d'une étoile massive gravitant autour d'un trou noir, vestige d'une autre étoile massive.

### LB-1

Un trou noir de 68 masses solaires a été découvert dans la direction des Gémeaux. Une masse supérieure à ce que prévoit nos théories sur les trous noirs stellaires. Expliquer comment cet astre a pu se former est un nouveau défi pour les astrophysiciens.  
Lire : <https://bit.ly/2L3uklz>

Distance  
de la Terre :  
15 000 a.-l.

### SgrA\*

Distance  
de la Terre :  
25 600 a.-l.

Un trou noir de 32 000 masses solaires a été repéré fin 2018 non loin du centre de la Voie lactée.

Distance  
de la Terre :  
16 300 a.-l.

Soleil

a.-l. : année-lumière





4

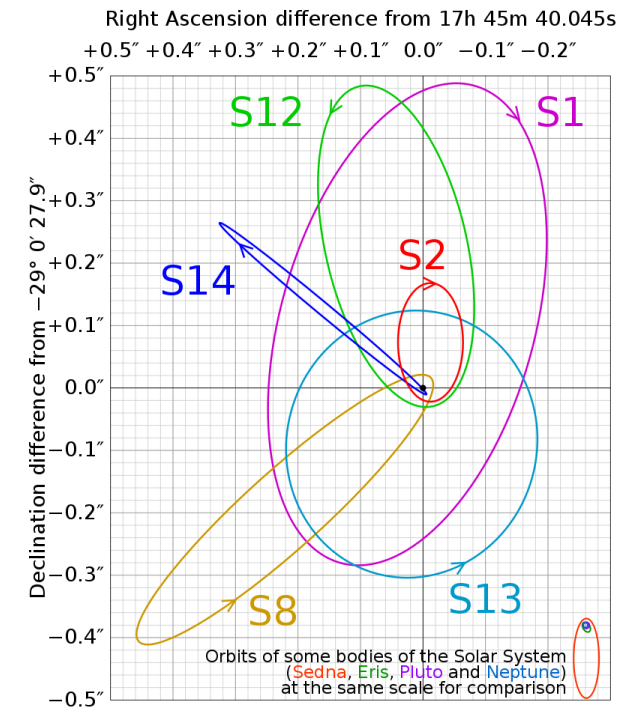
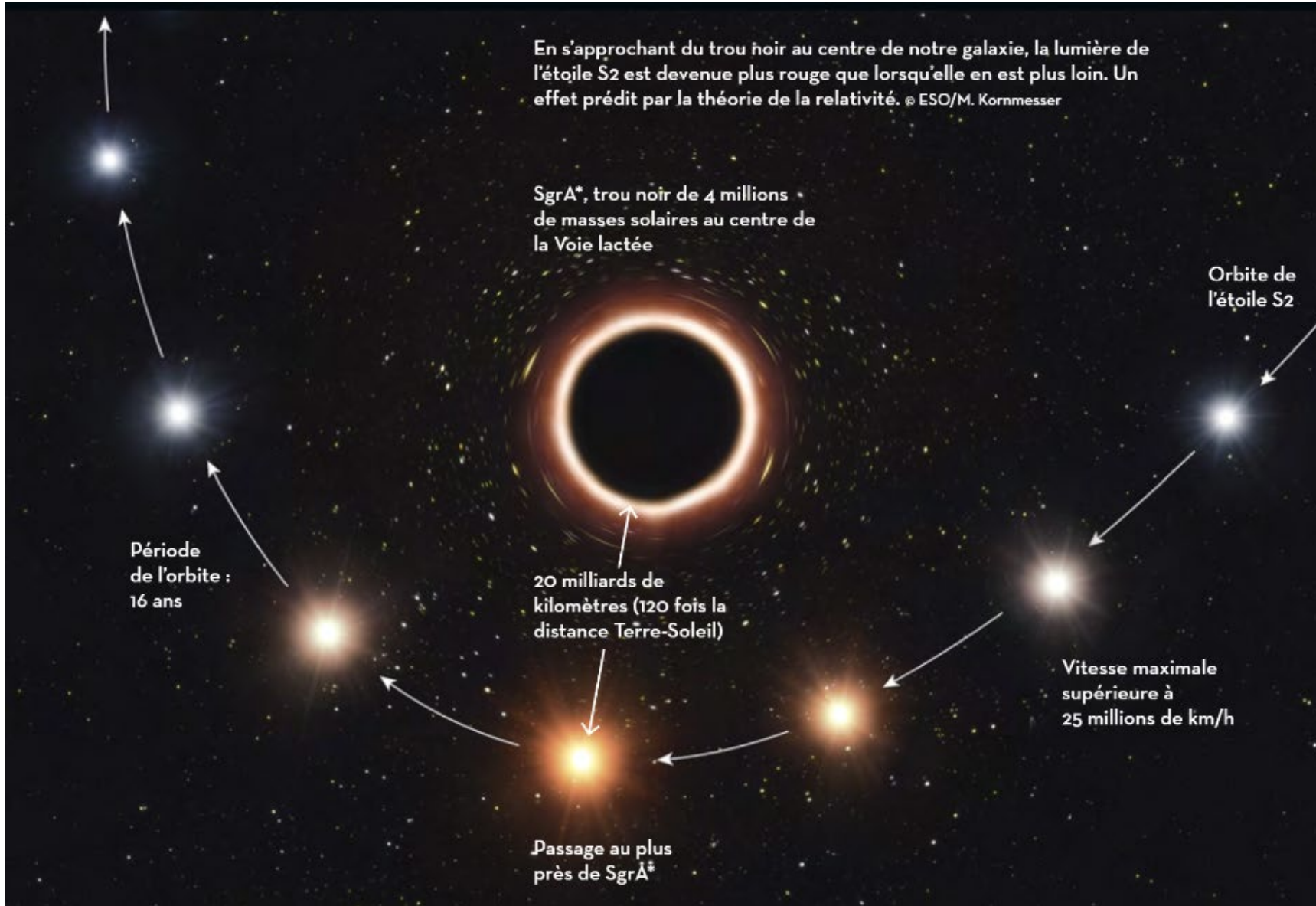
# Détecter les trois noirs

# Détecter les trous noirs

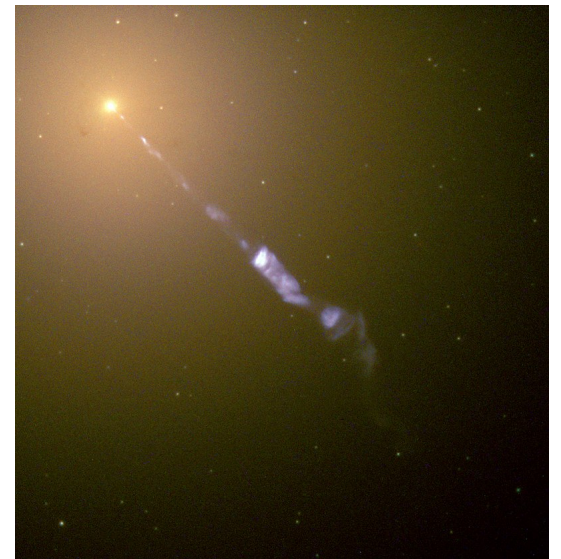
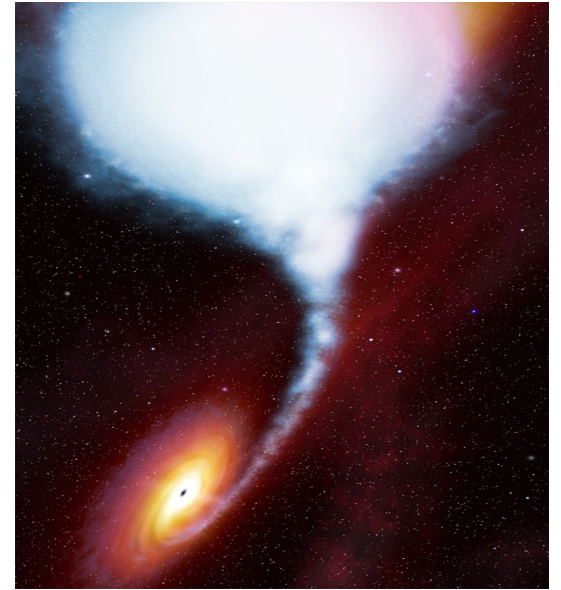
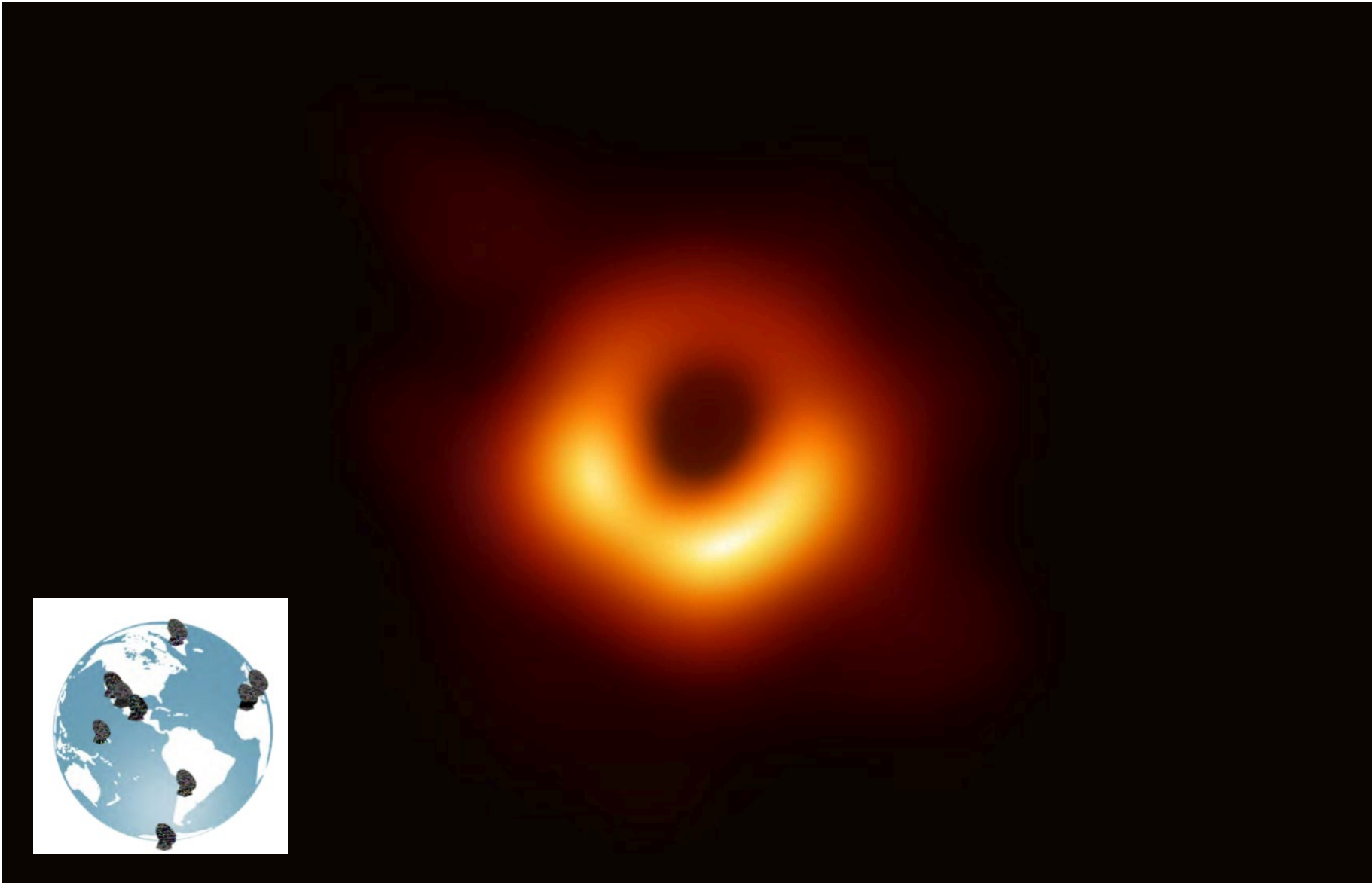
- **Observer les perturbations gravitationnelles**
- **Etudier l'empreinte électromagnétique**
- **Mesurer les vibrations de l'espace-temps**



# L'influence gravitationnelle

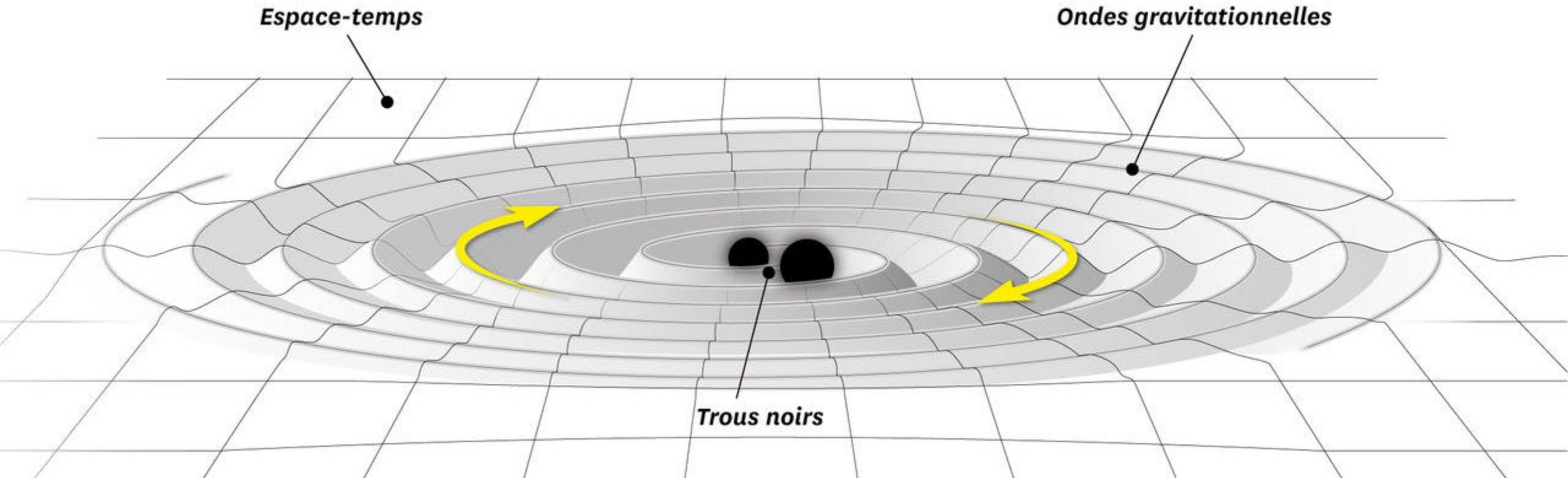


# L'empreinte électromagnétique





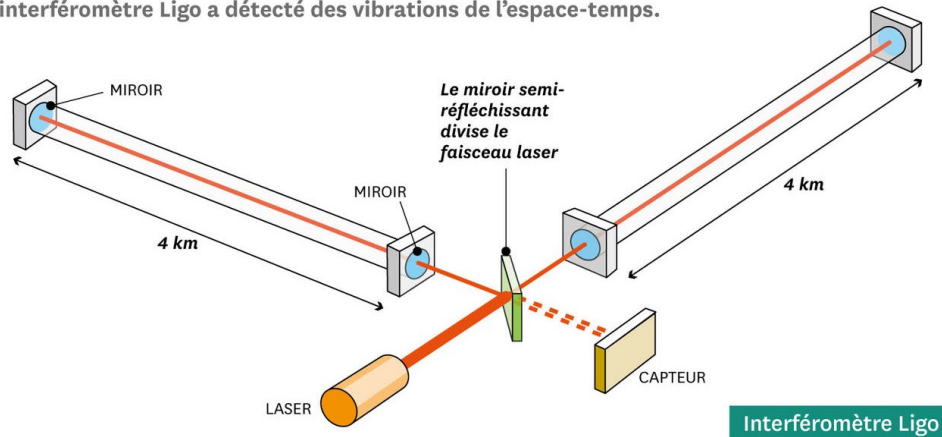
# Les ondes gravitationnelles



# Détecteurs d'ondes gravitationnelles

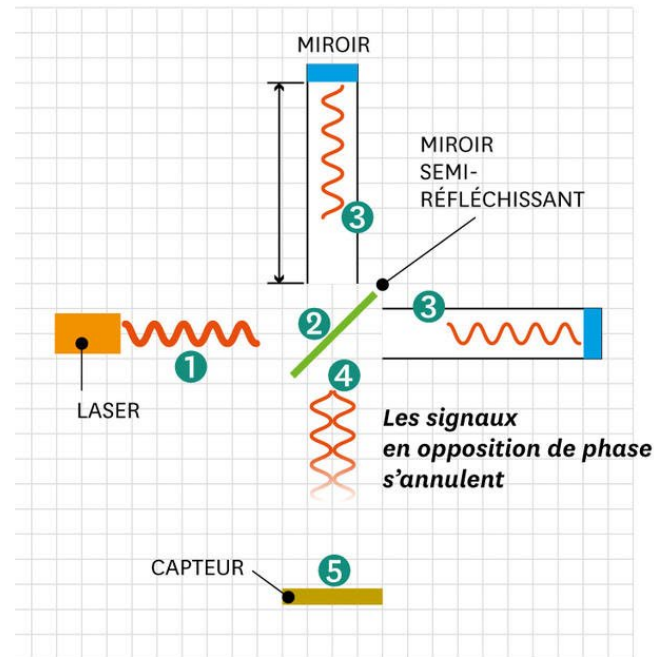


L'interféromètre Ligo a détecté des vibrations de l'espace-temps.



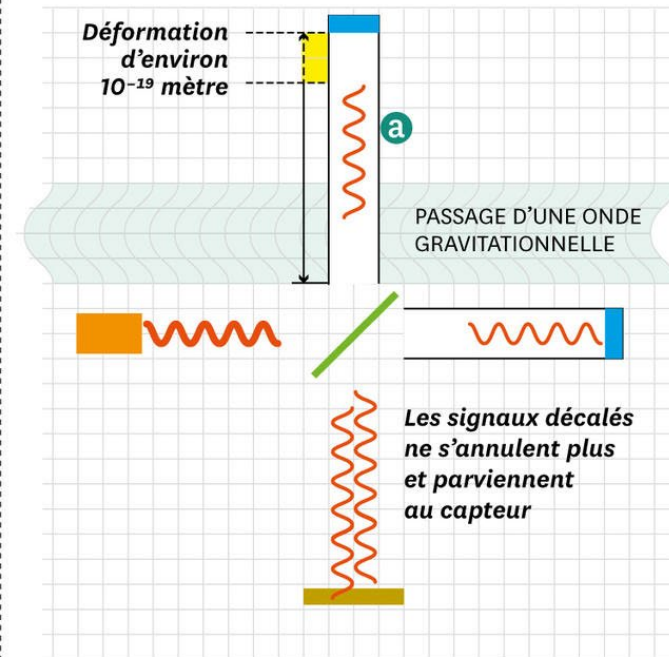
## QUAND RIEN NE BOUGE

Un faisceau laser (1) est divisé en deux (2). Chaque moitié est envoyée à l'intérieur d'un bras rempli de vide (3), les deux bras étant de la même longueur. Les demi-faisceaux sont réfléchis puis recombinaés (4). S'il n'y a pas de perturbations, les signaux correspondant aux moitiés de faisceaux, voyageant à la même vitesse, se retrouvent au niveau du capteur (5) en opposition de phase et donc s'annulent.



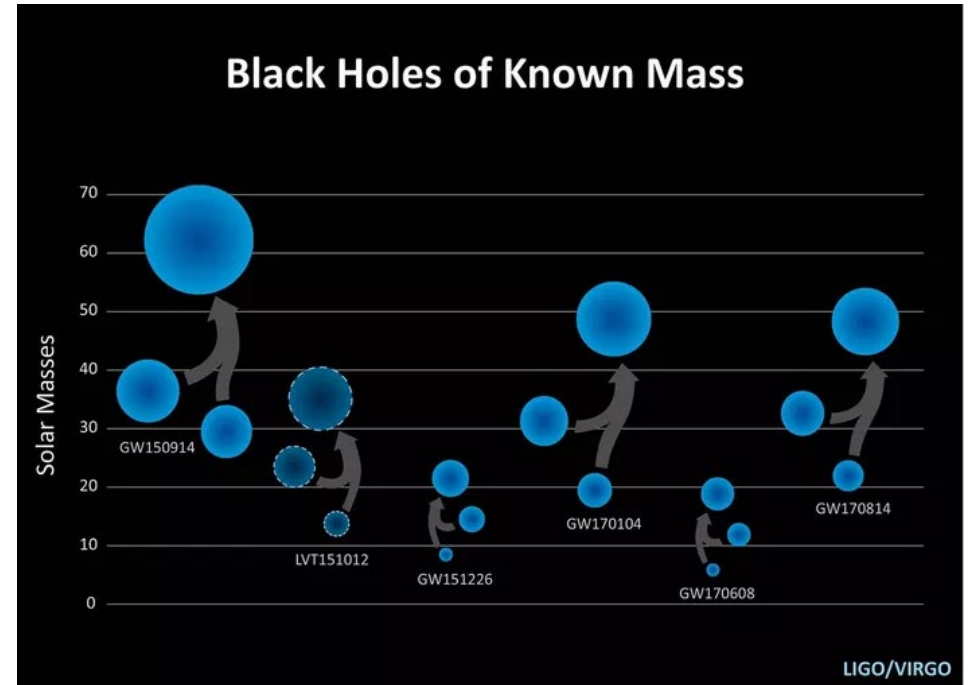
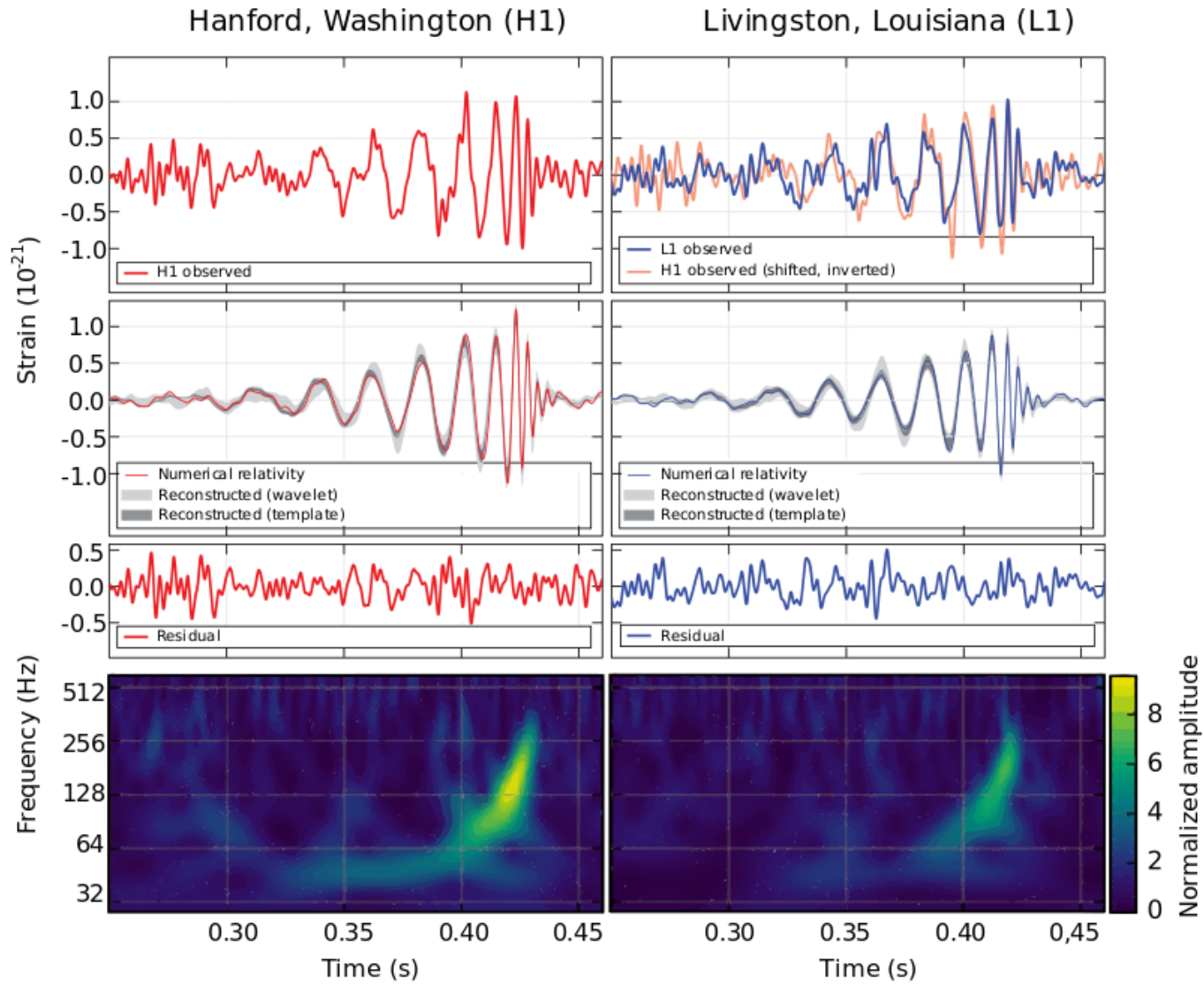
## AU PASSAGE D'UNE ONDE

Quand une onde gravitationnelle arrive, elle perturbe l'espace-temps. Dans cet exemple, le bras (a) est allongé de façon infinitésimale. Lorsque les deux demi-faisceaux se recombinaent, leurs signaux sont légèrement décalés : des interférences apparaissent et sont détectées par le capteur.





# Fusion de trous noirs



# Conclusion





