



Le côté sombre de l'Univers

27 Septembre 2025

Nicolas Laporte – RABS 2025

Sommaire

- **Une brève histoire de la gravité**
- **La matière noire**
- **Les trous noirs**
- **L'énergie noire**



Cambridge
Colleges

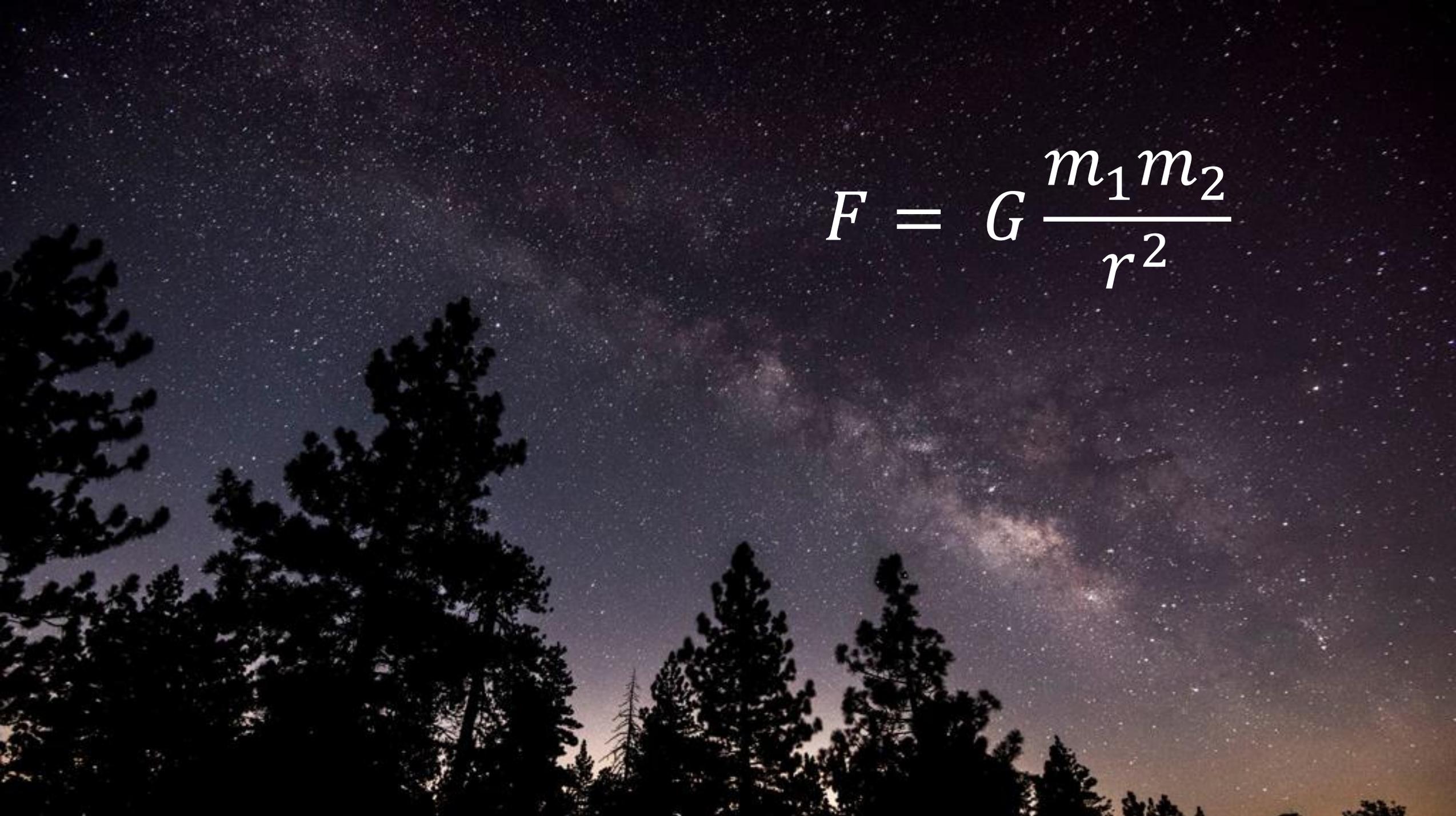
Une brève histoire de la gravité

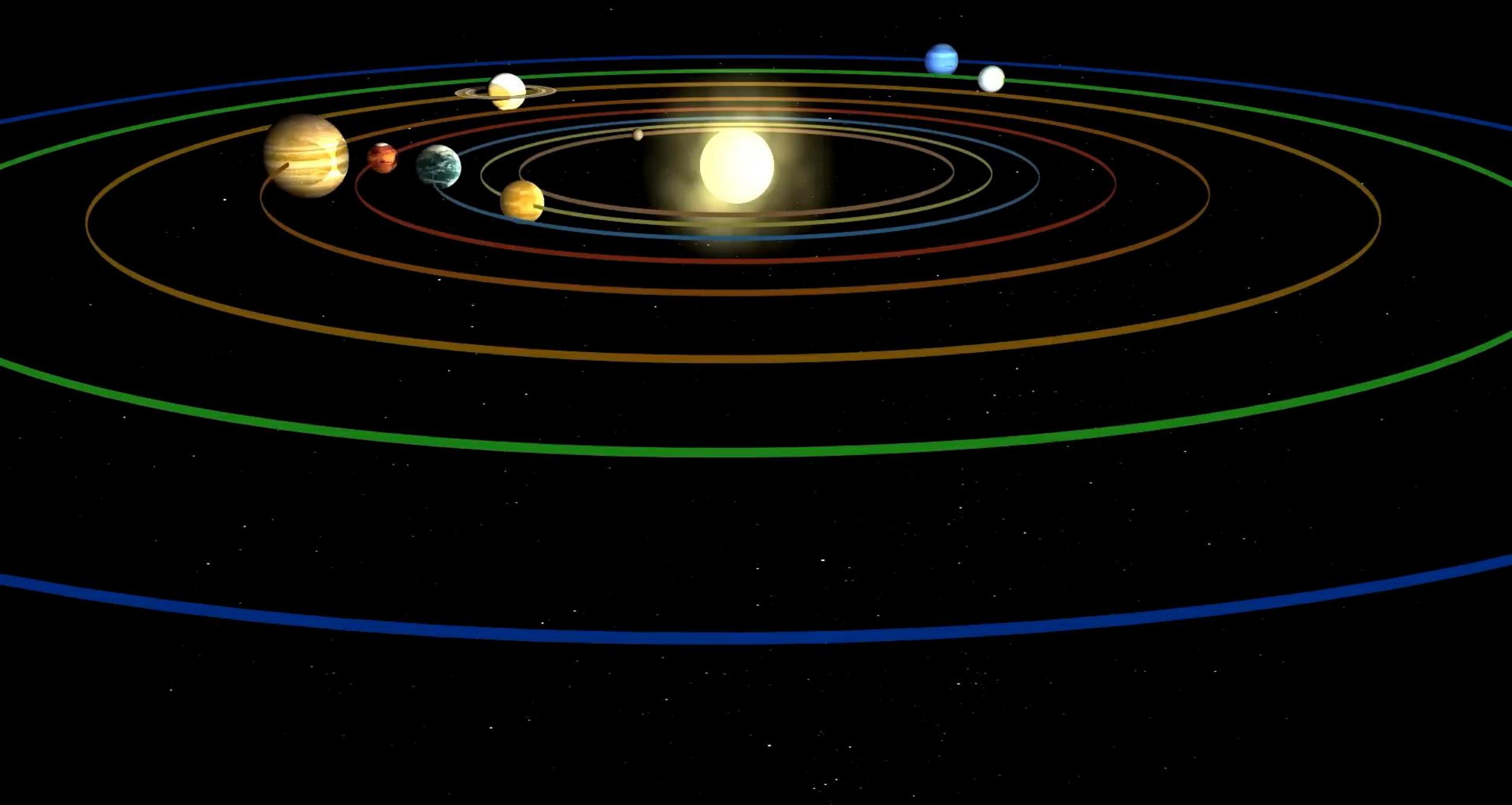
Partie 1







A night sky photograph featuring the Milky Way galaxy. The galaxy's bright band of stars is visible, curving across the upper right portion of the frame. The sky is dark and filled with numerous individual stars. In the foreground, the dark silhouettes of several trees are visible against the starry background.
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$



The Solar System

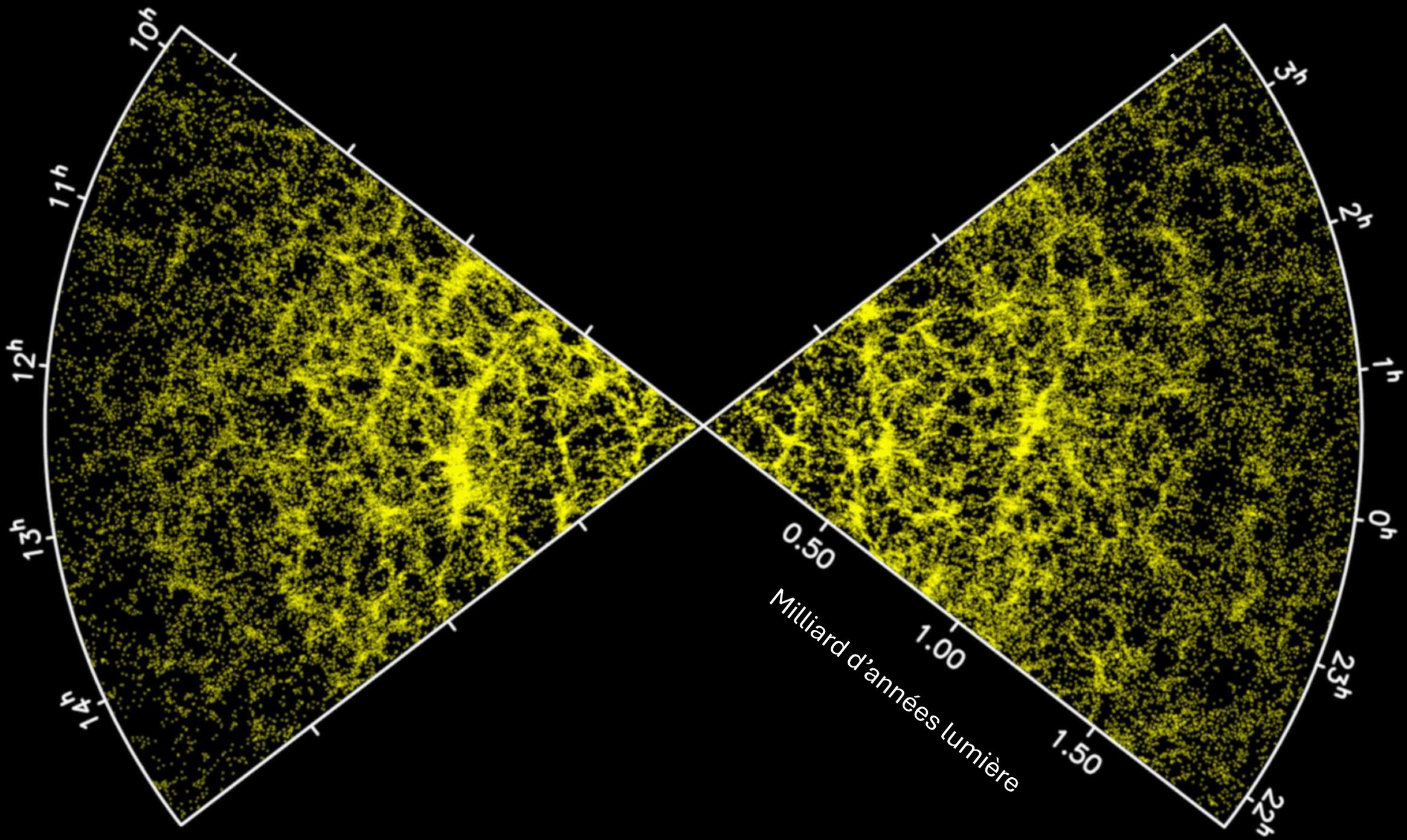


La matière noire

Partie 2







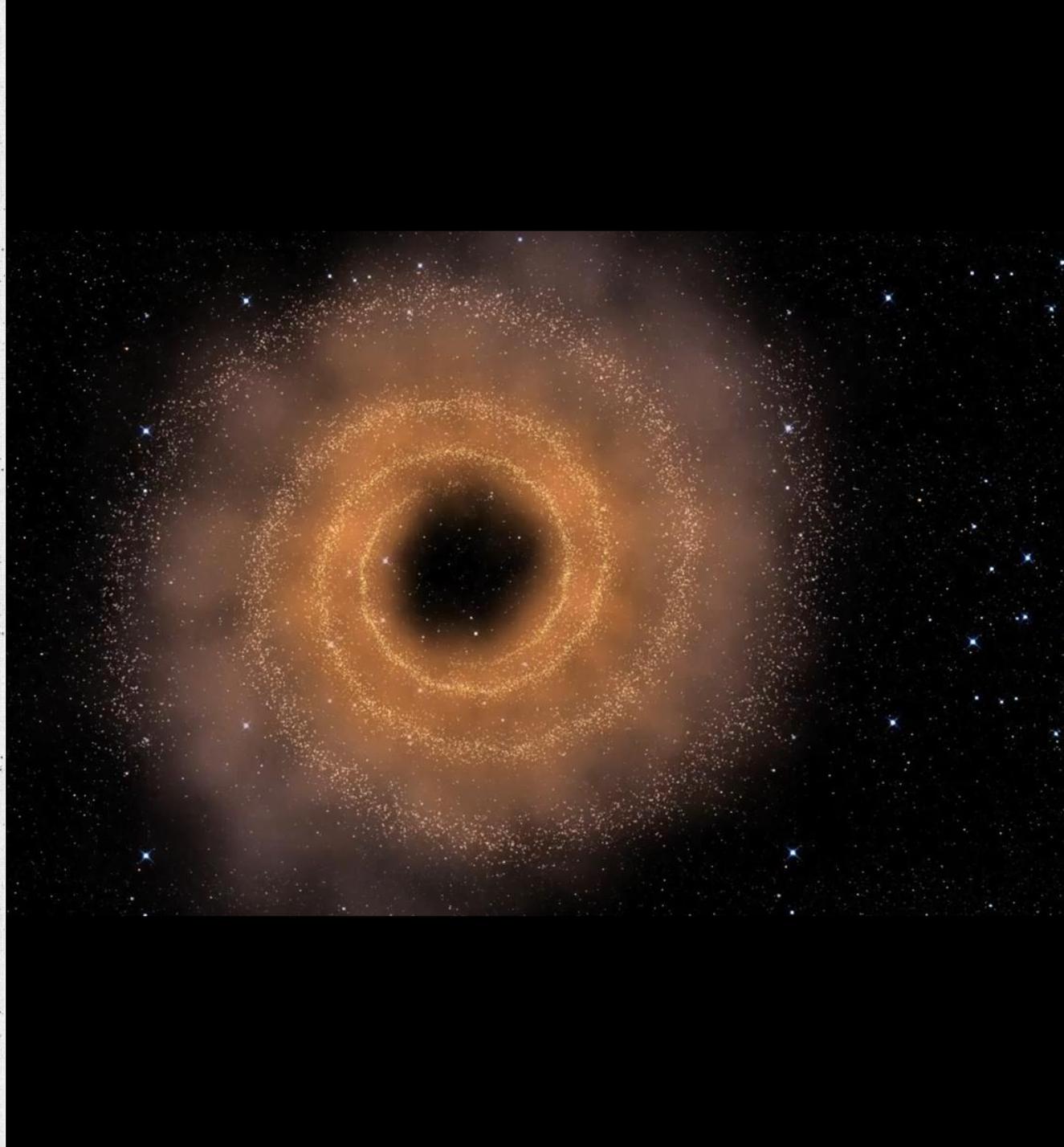
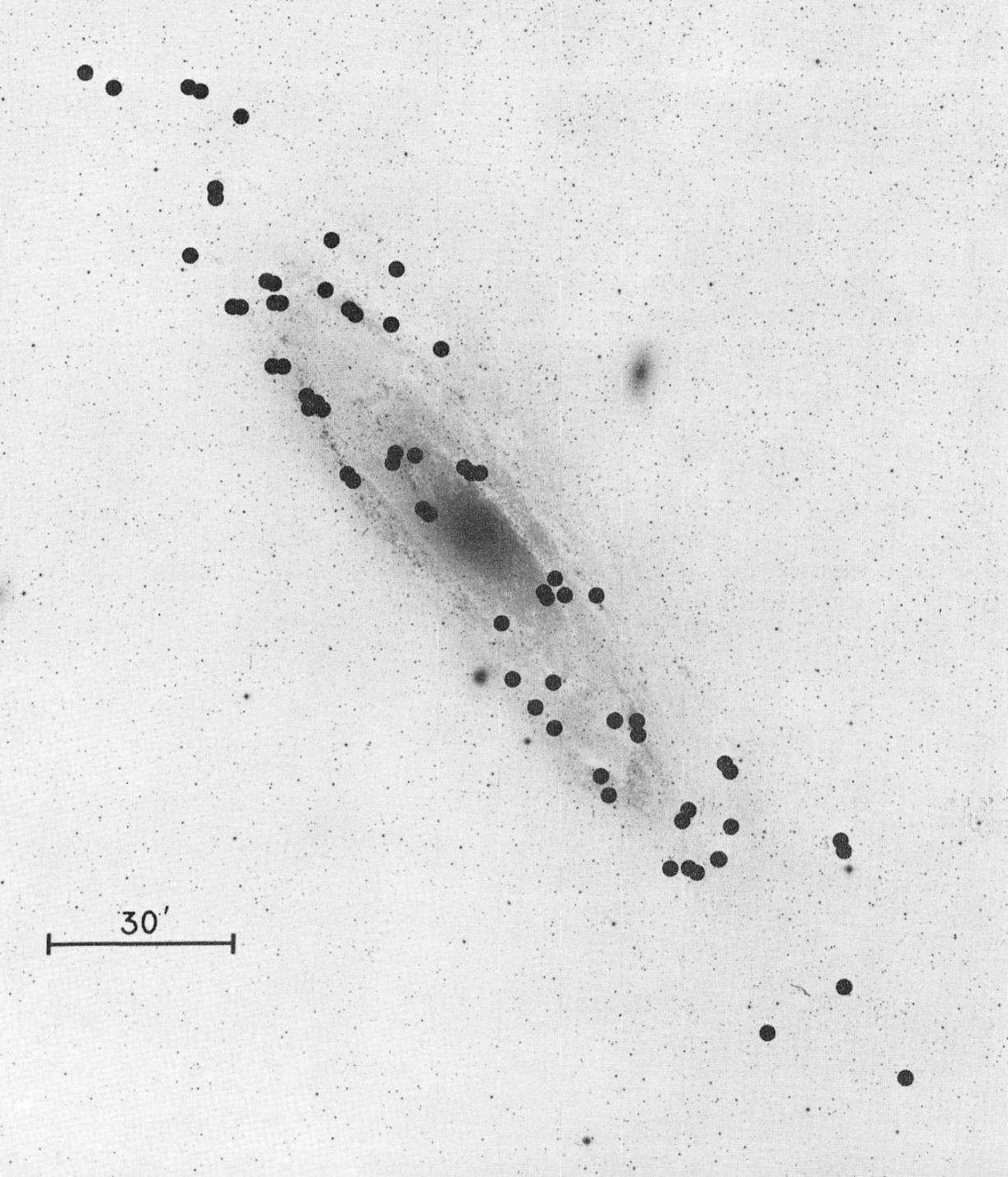


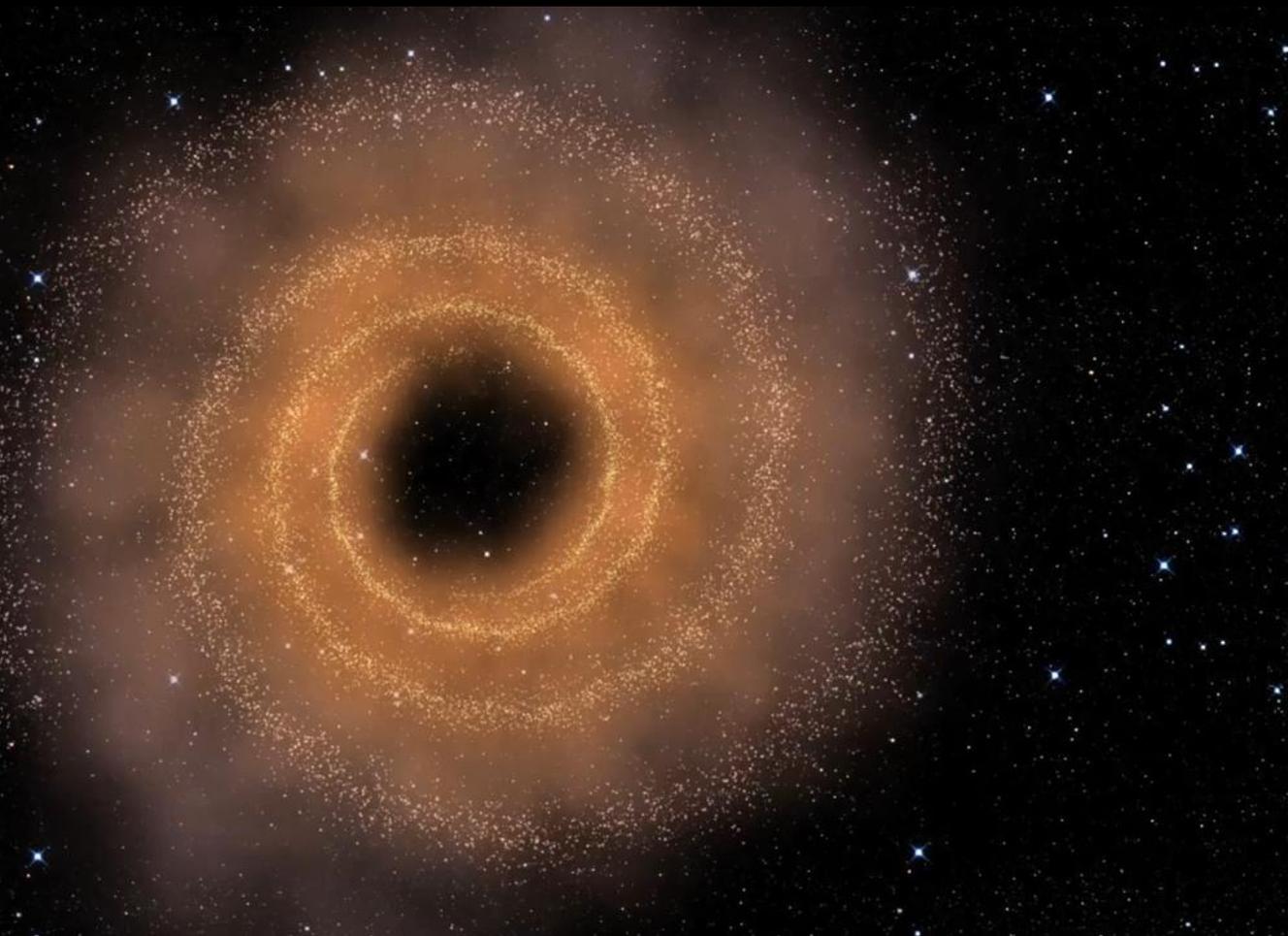


Vera Rubin
1928 - 2016



- (1) Dans une galaxie, les étoiles représentent l'essentiel de la masse totale de la galaxie.
- (2) Le centre de la galaxie d'Andromède est bien plus lumineux que la périphérie (Une grande partie de la masse est donc au centre de la galaxie)
- (3) D'après I. Newton, dans l'espace, plus on s'éloigne d'un objet massif, moins on tournera vite autour de lui





1) Dans une galaxie, les étoiles représentent l'essentiel de la masse totale de la galaxie.

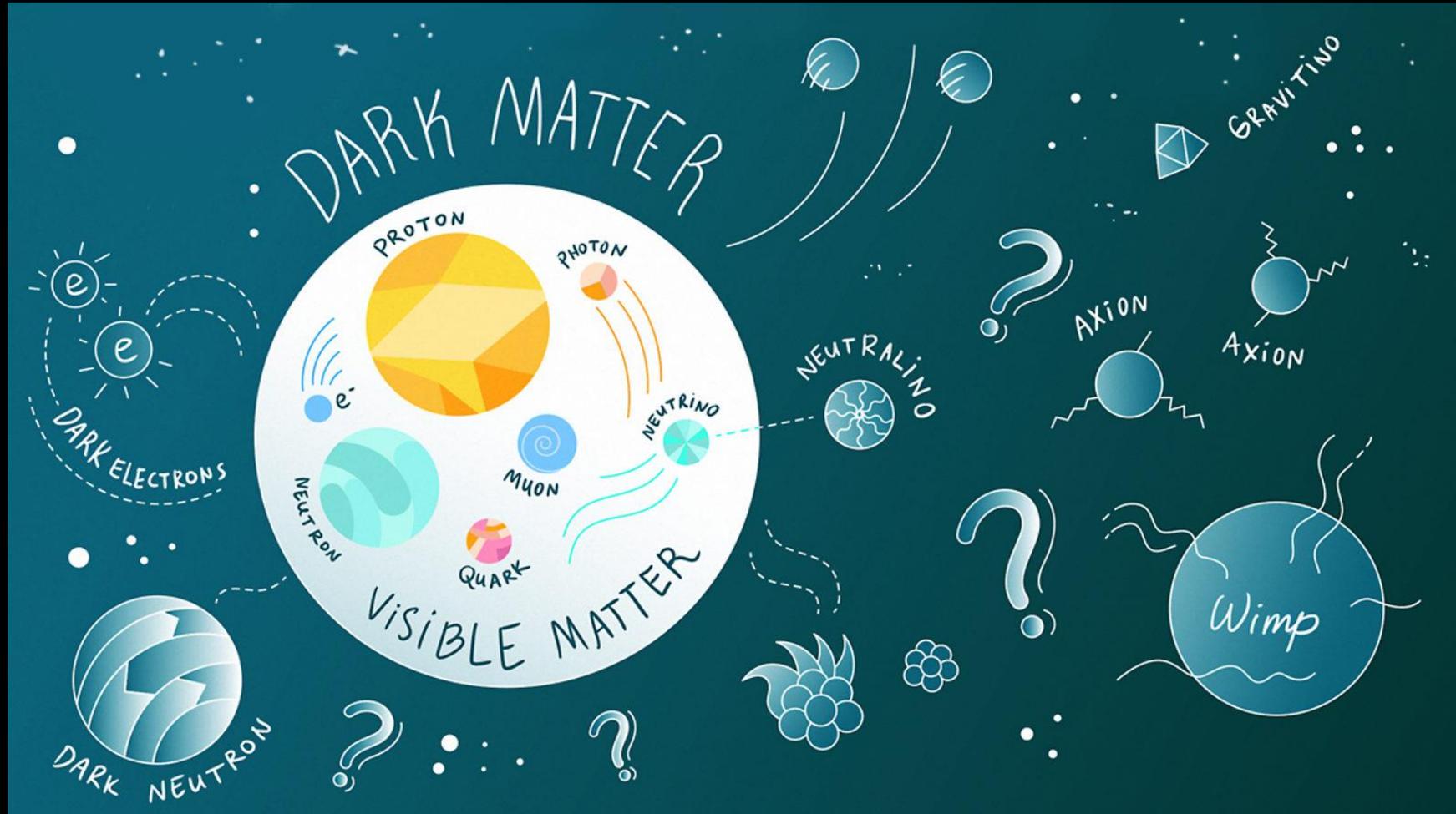
2) Le centre de la galaxie d'Andromède est bien plus lumineux que la périphérie

3) Dans une galaxie, plus on s'éloigne d'un objet massif, moins on tournera vite autour de lui

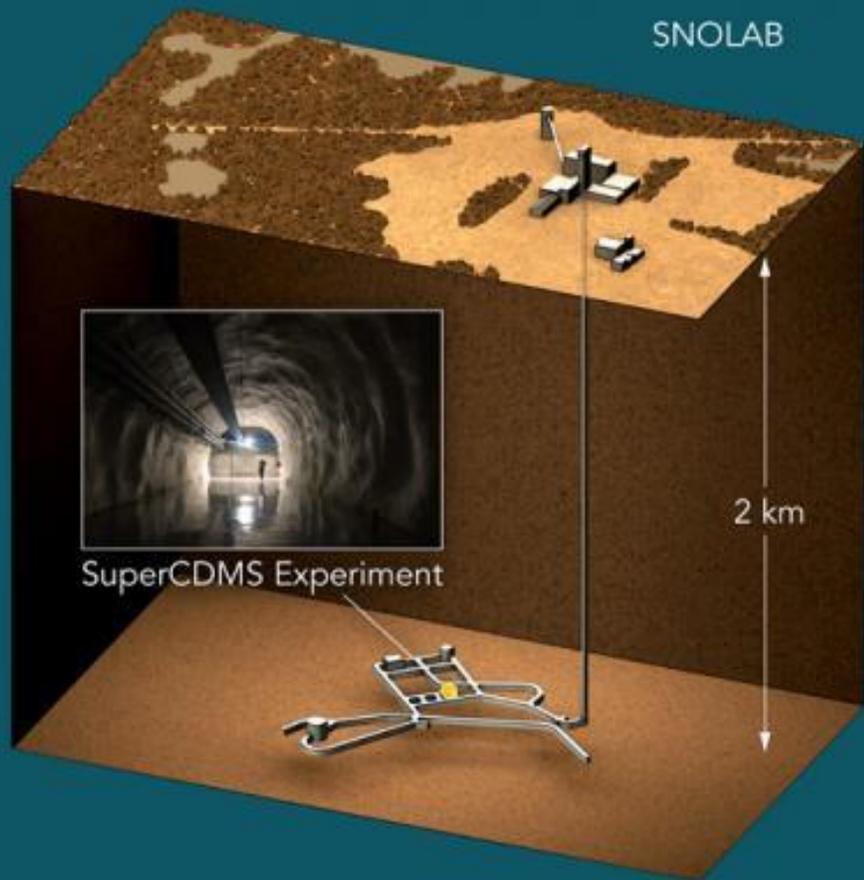
Dans une galaxie, il y a donc de la masse que l'on ne voit pas

... la matière noire

À la recherche des particules de matière noire



Des candidats sérieux pour la matière noire : *Weakly Interacting Massive Particules (WIMP)*



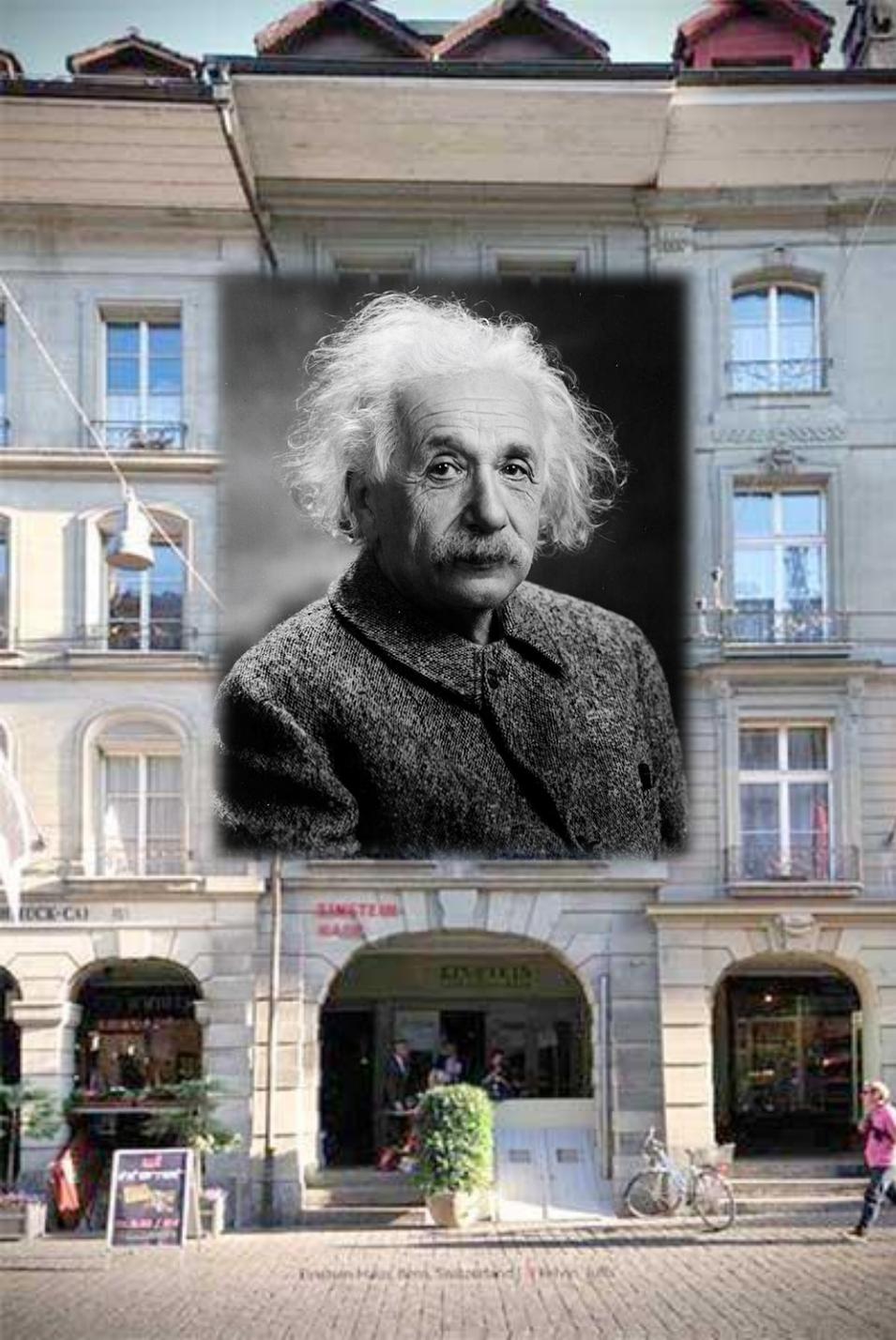
- Les WIMPs sont des particules qui interagissent très peu avec la matière normale
- Pour les détecter, il faut donc placer un détecteur en sous-sol pour éliminer les autres particules de matière ordinaire.
- Le super Cryogenic Dark Mater Search (sCDMS) est une expérience basée au Canada.
- A 2km de profondeur des blocs de germanium de 1500kg sont installés pour freiner encore plus les particules.



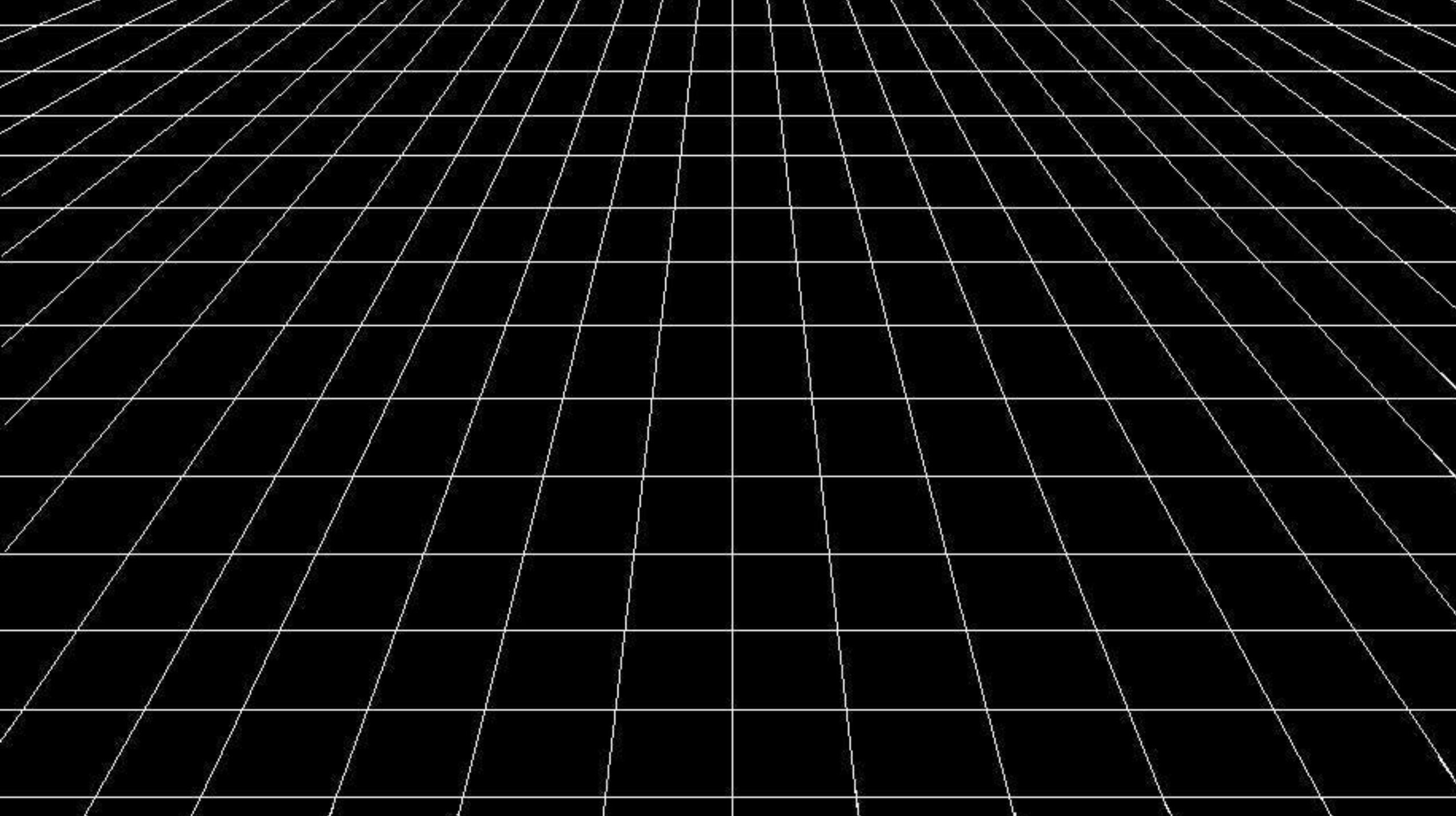
Un détecteur de matière noire dans l'ISS

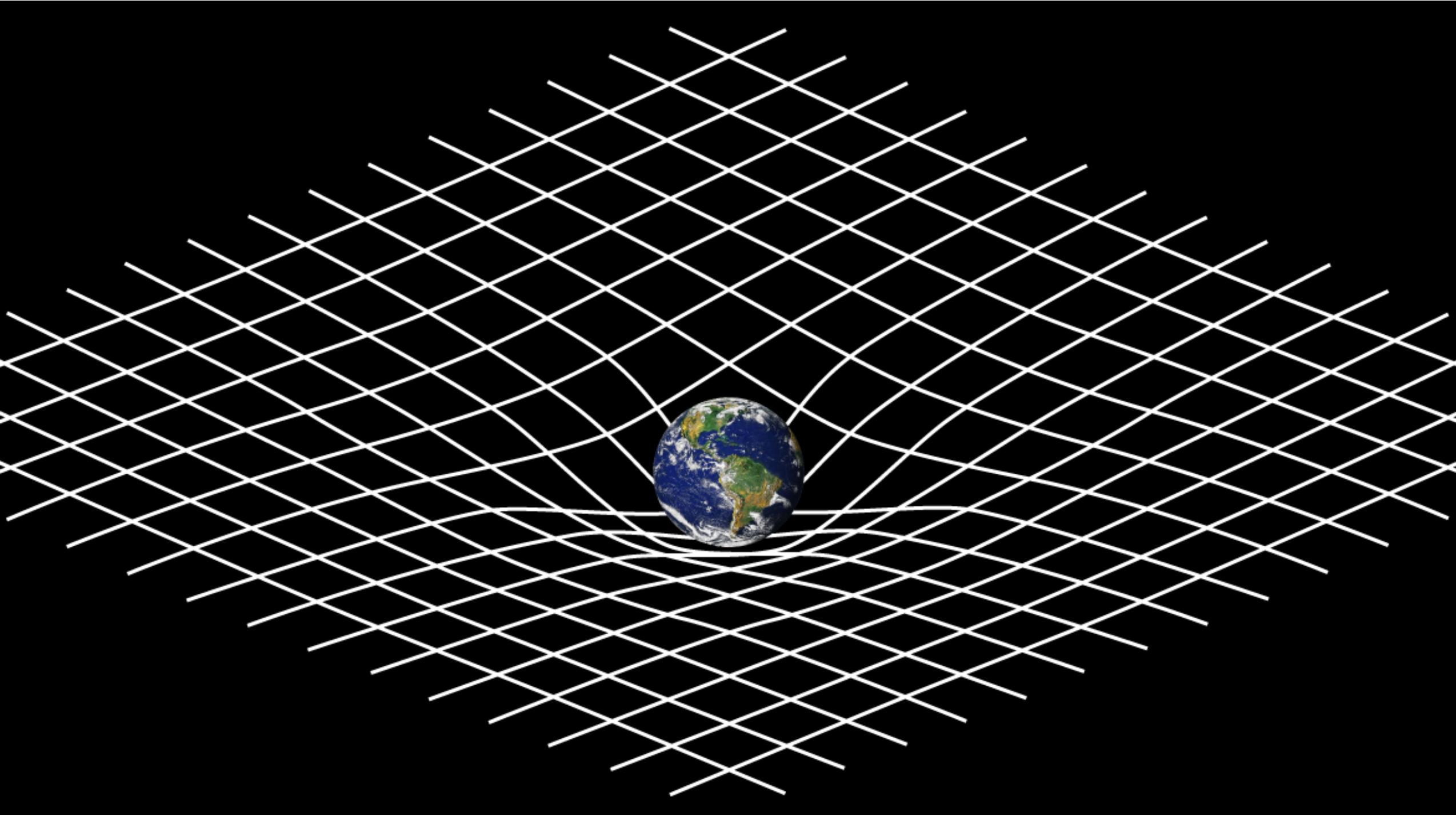


- Depuis 2011, les astronautes à bord de l'ISS tentent de détecter des particules de matières noires avec le détecteur AMS
- Après plus de 150 milliards de particules détectées, aucune ne semble être une particule de matière noire.
- **Toutes ces expériences n'ont pour l'instant pas réussi à détecter une particule de matière noire**



Reprenons l'histoire de la gravité





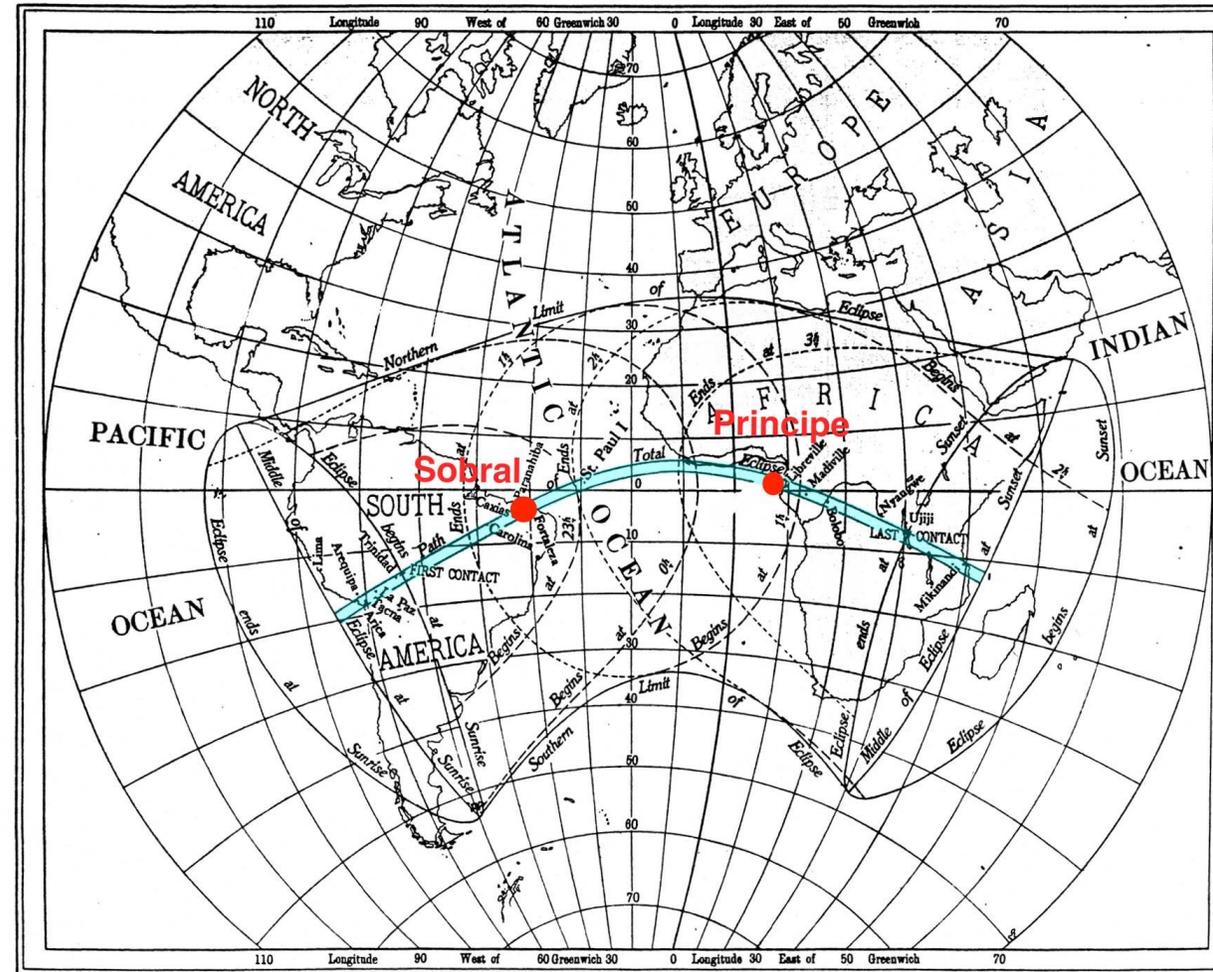


www.spacetelescope.org

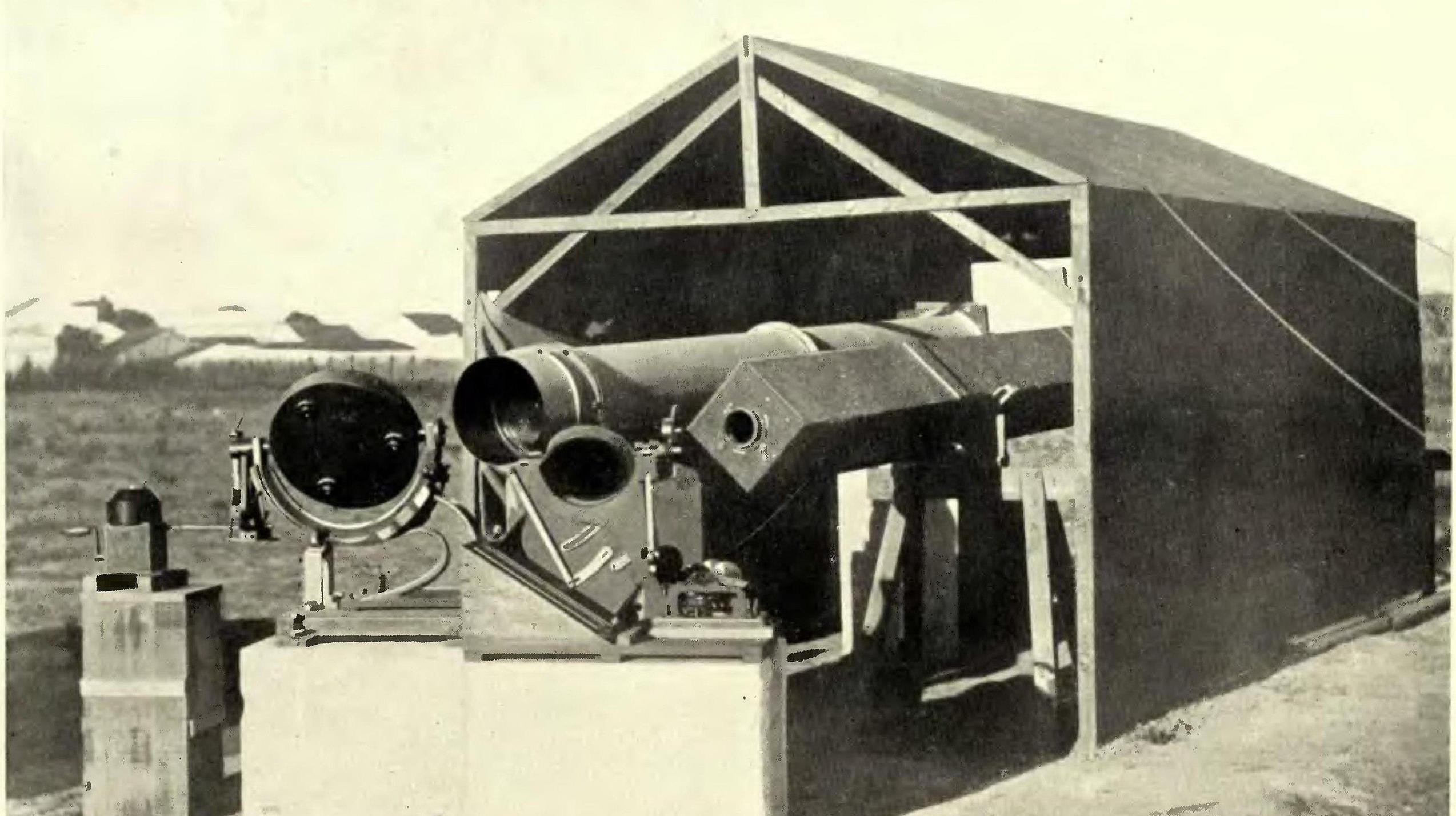


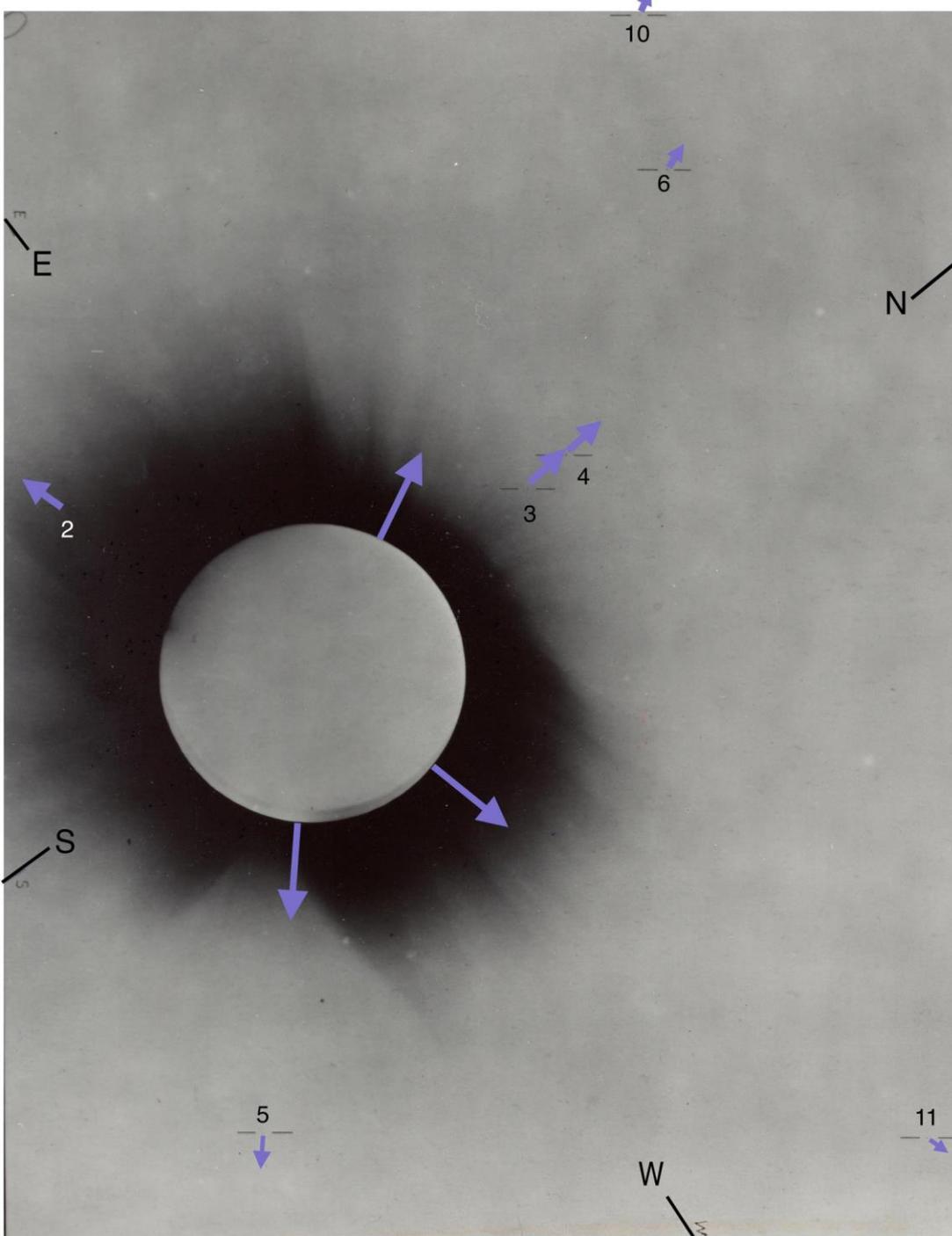


TOTAL ECLIPSE OF MAY 28-29, 1919.



Note:- The hours of beginning and ending are expressed in Greenwich Mean Time.





THE NEW YORK

LIGHTS ALL ASKEW IN THE HEAVENS

**Men of Science More or Less
Agog Over Results of Eclipse
Observations.**

EINSTEIN THEORY TRIUMPHS

**Stars Not Where They Seemed
or Were Calculated to be,
but Nobody Need Worry.**

A BOOK FOR 12 WISE MEN

**No More in All the World Could
Comprehend It, Said Einstein When
His Daring Publishers Accepted It.**

Special Cable to THE NEW YORK TIMES.
LONDON, Nov. 9.—Efforts made to
put in words intelligible to the non-

French Government to Open Cheap National Restaurants

PARIS, Nov. 9.—“National restaurants,” it is officially announced, will be opened within a month, where meals without wine will be served, at 2 francs, in wooden barracks, which it is purposed to heat. The barracks will be built and operated by the authorities.

A protest has been issued by the head of the restaurant proprietors' organization on the ground of unfair competition, as the State has access to army stocks and is relieved of many taxes.

HOLLAND UNLIKELY TO GIVE UP KAISER

**Dutch Reiterate on Anniversary
of His Flight Their Views
on Right of Asylum.**

NO DEMAND FOR HIM YET

Negotiations with Belgium Over

ORLANDO POINTS TO ITALY'S GAINS

**Treaty Assures Her Frontiers,
He Says, Though Fiume
Deadlock Continues.**

CITES WILSON'S OPPOSITION

**Sees it as "Insurmountable Obsta-
cle" to the Acceptance of
Italy's Concessions.**

PALERMO, Nov. 9. (Associated Press.)—Ex-Premier Orlando, in a speech to the electors last night, reiterated the defense which he made in the Chamber in September of his actions, and declared that the situation on the Adriatic question today was the same as he left it in the beginning of June.

It was impossible to reach a solution, said Signor Orlando, because Italy could not increase her concessions, the acceptance of which found “an insurmountable obstacle in the opposition of President Wilson.”

The former Premier pointed out that Italy had attained the chief objects of her entry into the war by reaching the Brenner frontier, which in the past was the historical road of German invasions

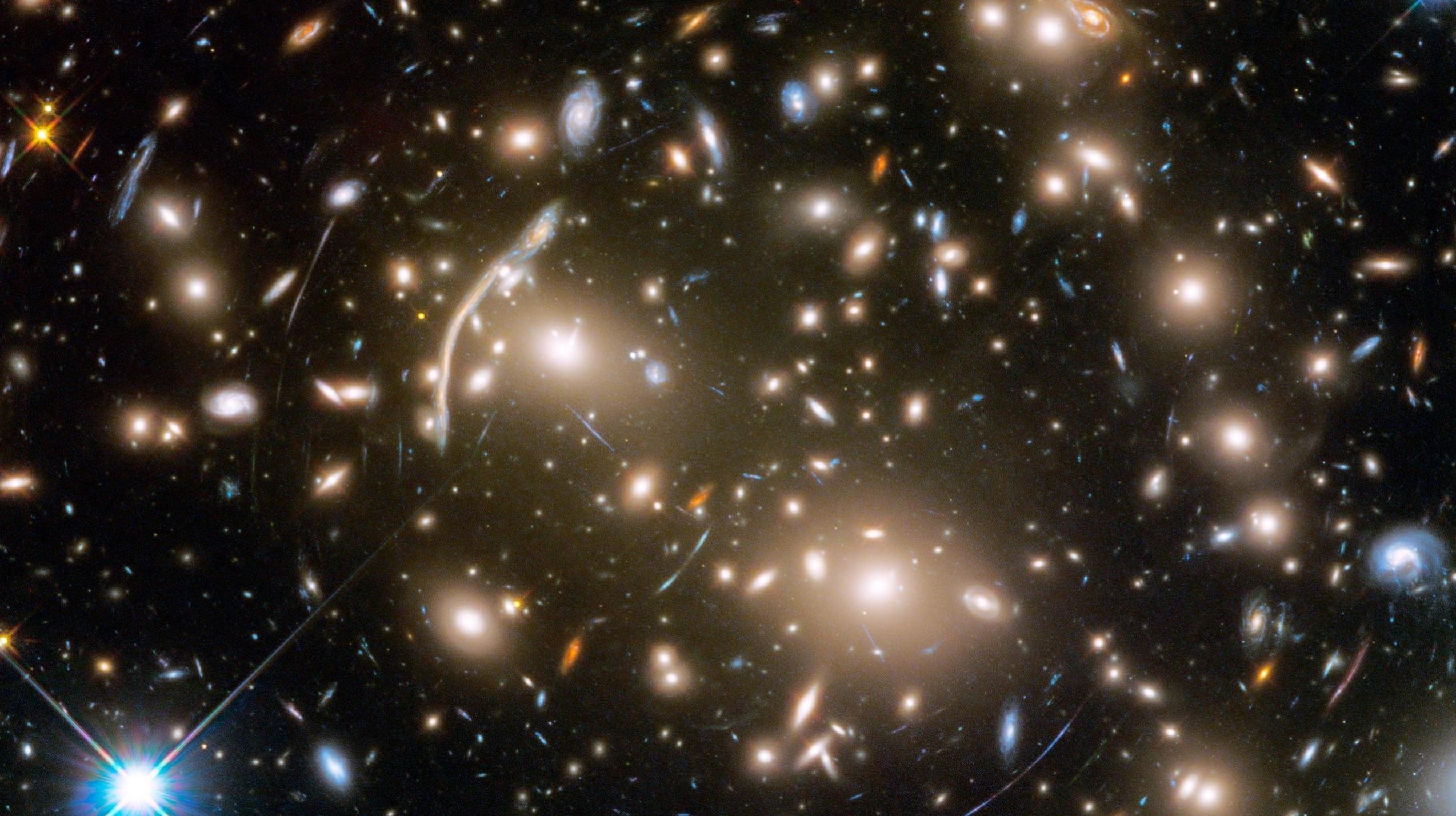
Republic

OKLAHOMA Returns from f reporting toda lead by which lean, was ele Fifth District Weaver, Dem pincts in the heard from. small country terially affect The League the Administr of the campa their appeals declaring tha enter into the supported the

ASTOR ENTER

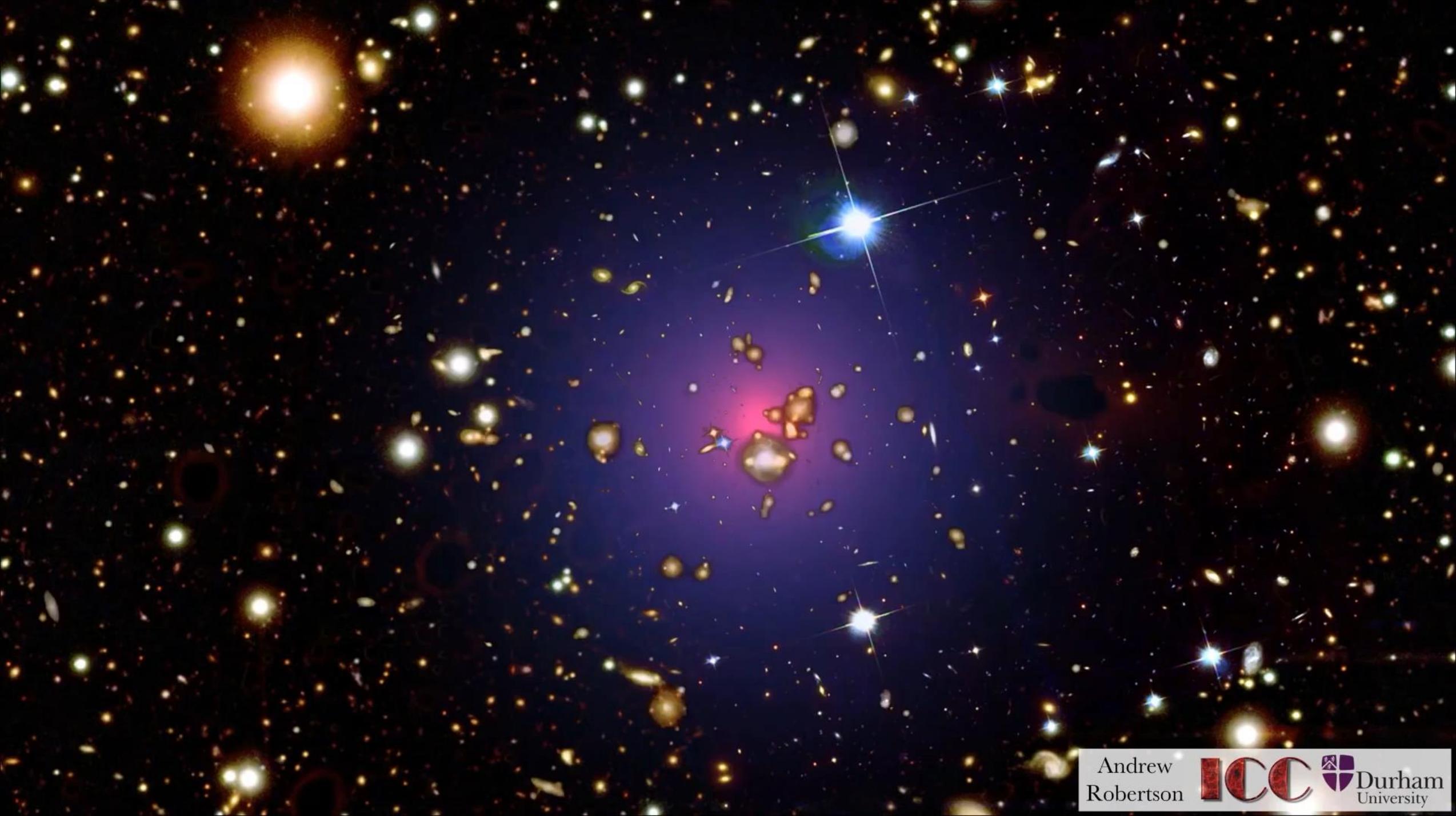
**Close of th
Three**

LADY A

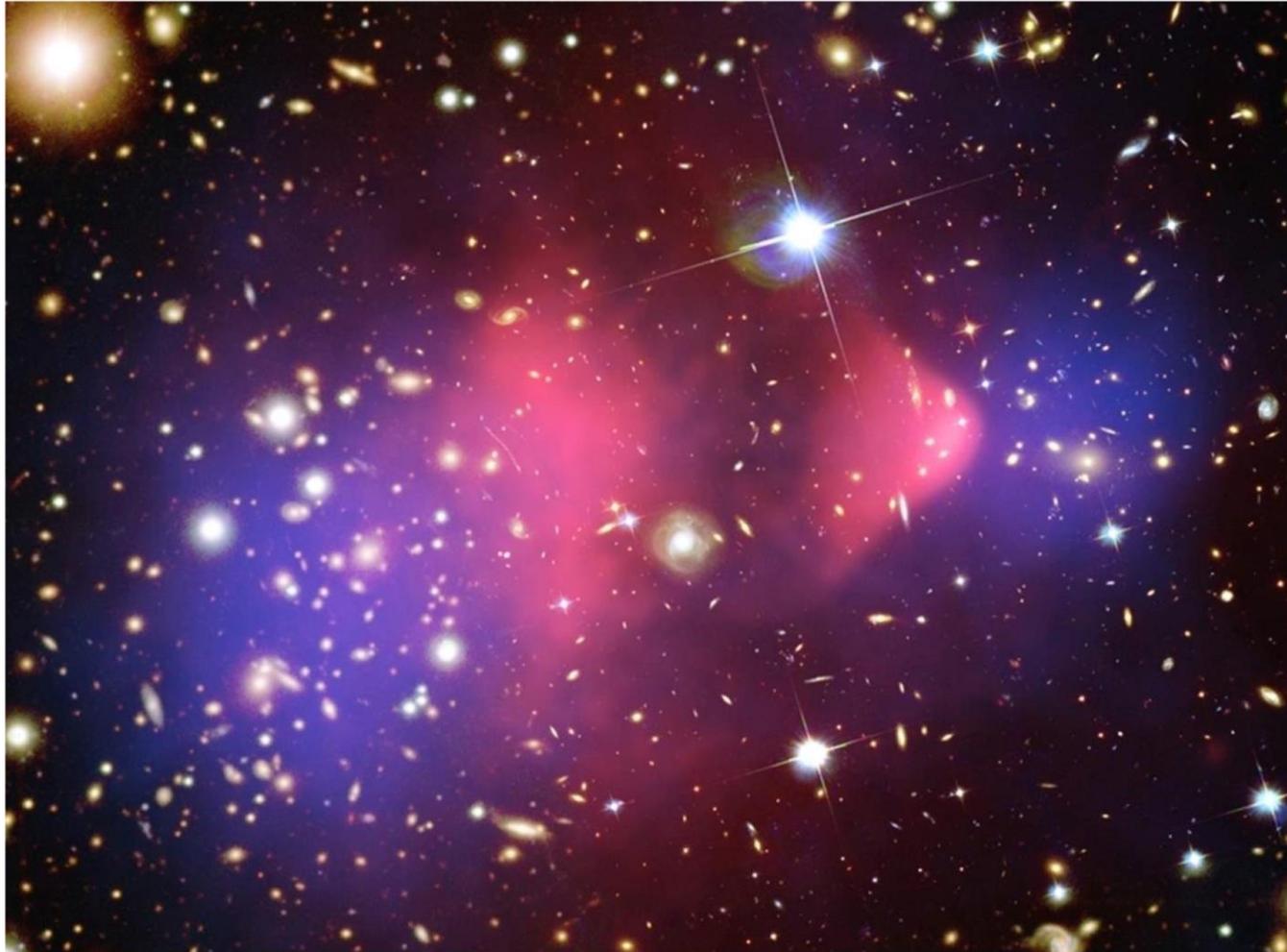




**Matière
normale (ou
baryonique)**
Matière noire



Un amas particulier : le Bullet Cluster

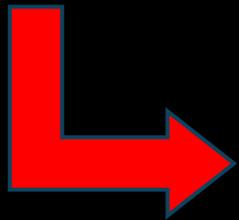
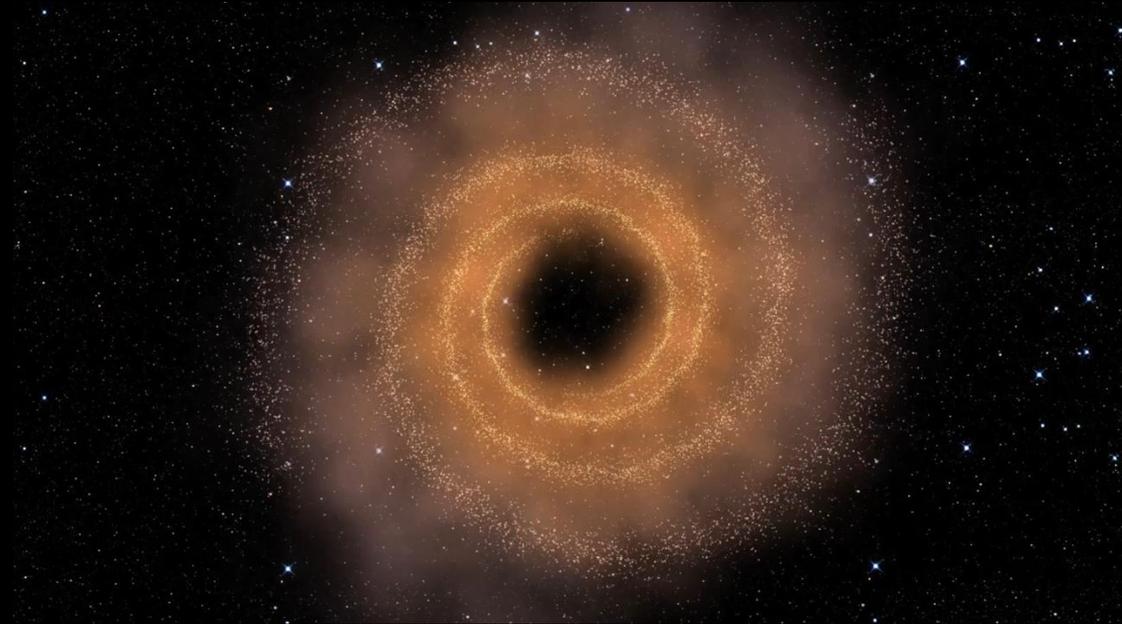


- La matière noire semble ne pas interagir avec la matière normale
- Elle n'interagit pas non plus avec elle-même
- Chaque seconde, il y a plusieurs millions de particules de matière noire qui traverse notre corps, sans interagir avec lui !
- Cette absence d'interaction la rend extrêmement difficile à détecter directement.

Et si la matière noire n'existait pas ?

Retour sur les hypothèses initiales

- 1) Dans une galaxie, les étoiles représentent l'essentiel de la masse totale de la galaxie.
- 2) Le centre de la galaxie d'Andromède est bien plus lumineux que la périphérie
- 3) Dans l'espace, plus on s'éloigne d'un objet massif, moins on tournera vite autour de lui

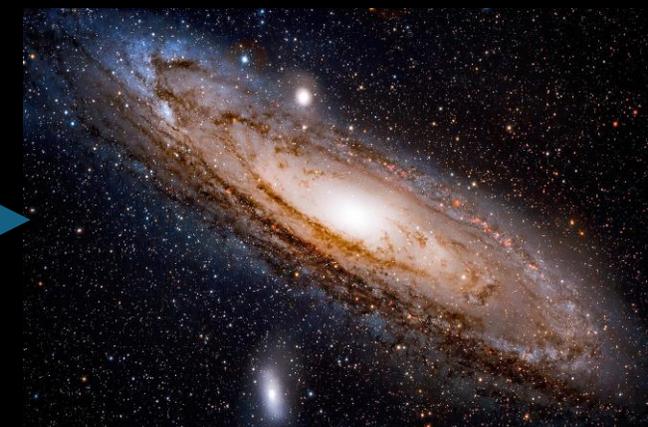
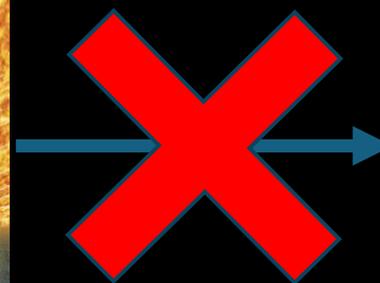
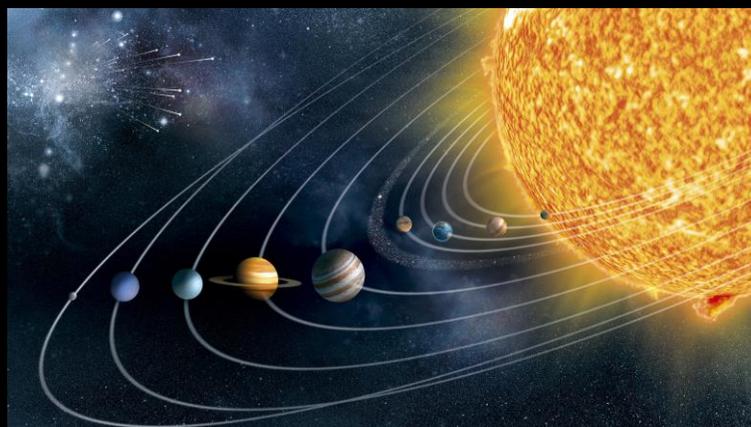


Et si Newton s'était trompé, si la gravitation n'était pas Universelle

MOdified Newtonian Dynamics (MOND)

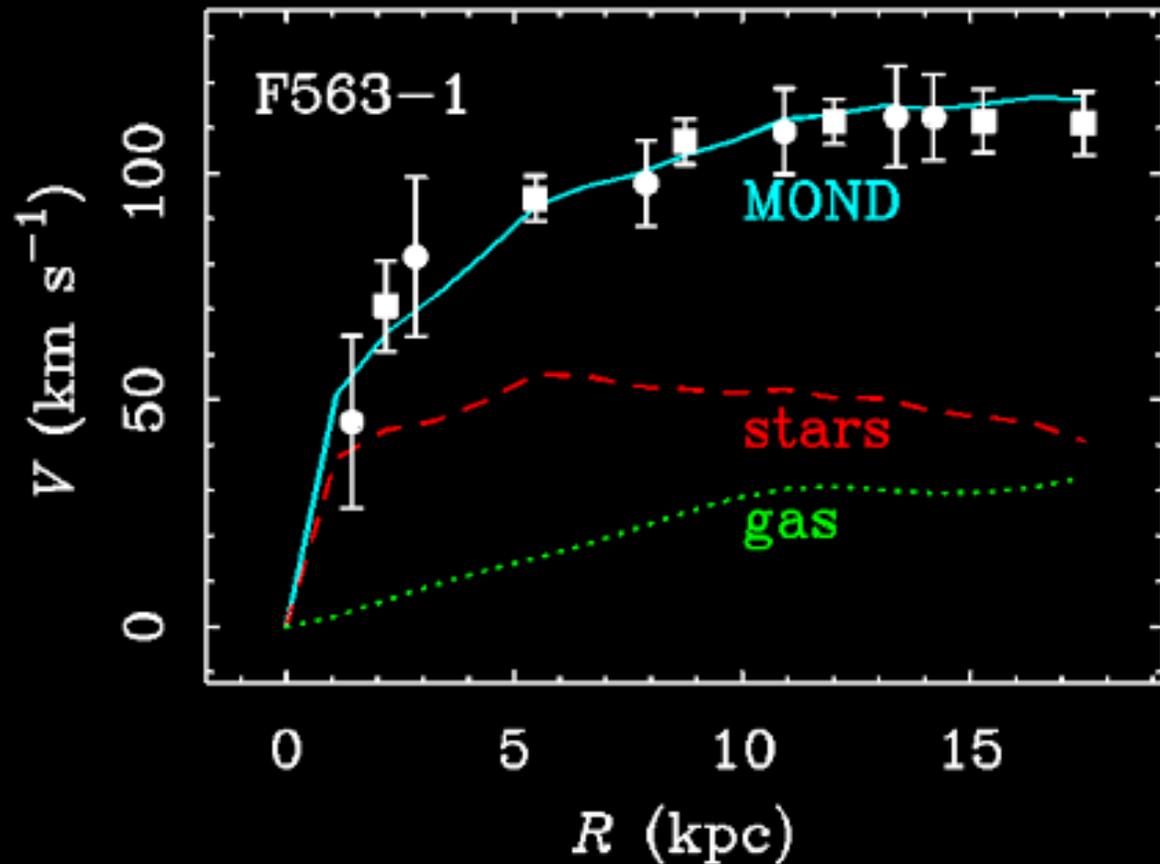


Mordehai Milgrom
(1946 -)



Un facteur d'échelle doit être inclus dans les équations de Newton

MOdified Newtonian Dynamics (MOND)

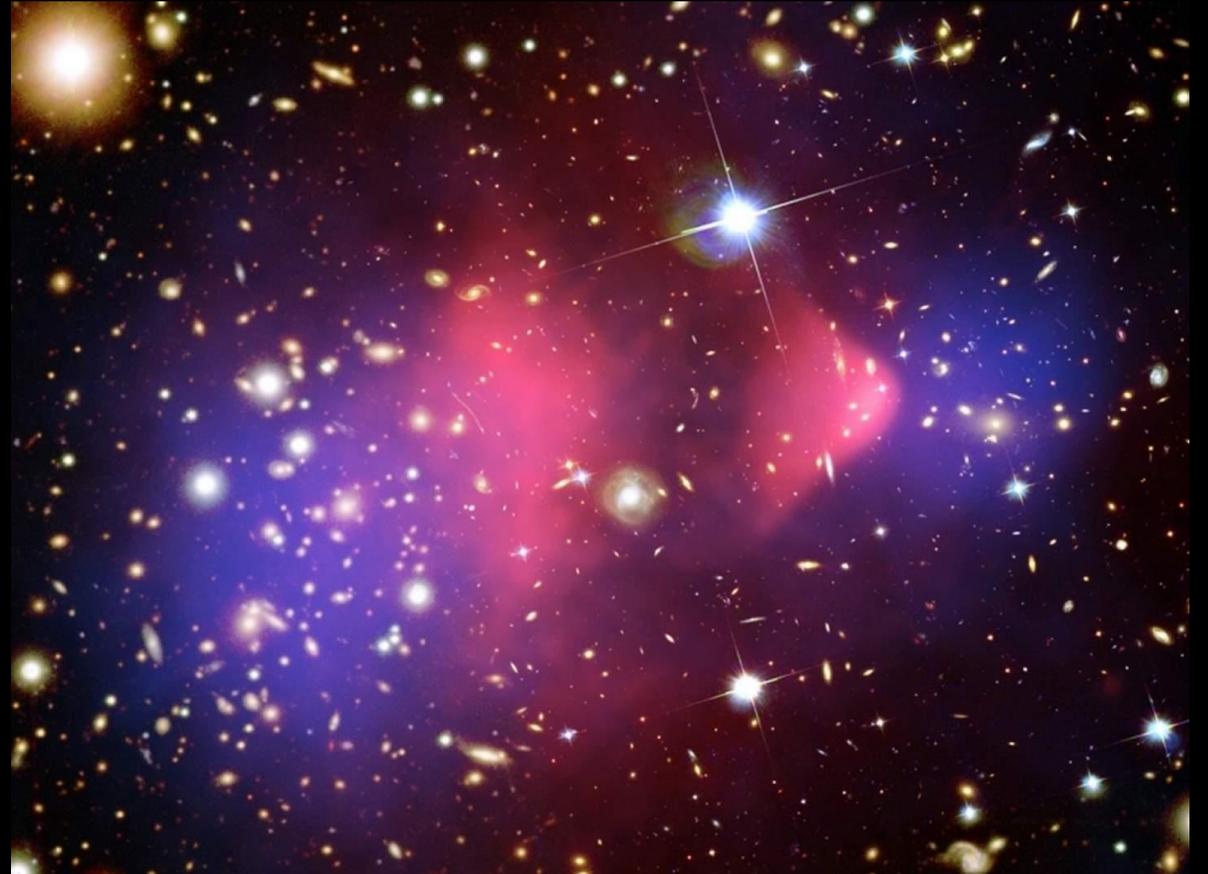


- MOND réussi à expliquer la courbe de rotation des galaxies !

- MOND n'arrive pas à expliquer la distribution de la matière dans les amas de galaxies

La matière noire en septembre 2025

- La matière noire est indispensable pour expliquer la formation des grandes structures dans l'Univers
- Pour l'instant, tous les résultats scientifiques publiés se basent sur un Univers dont la matière est composée à 20% de matière ordinaire et à 80% de matière noire.
- Les chercheurs travaillent actuellement sur un modèle qui combinerait à la fois l'ajout de matière noire et une modification des équations de Newton



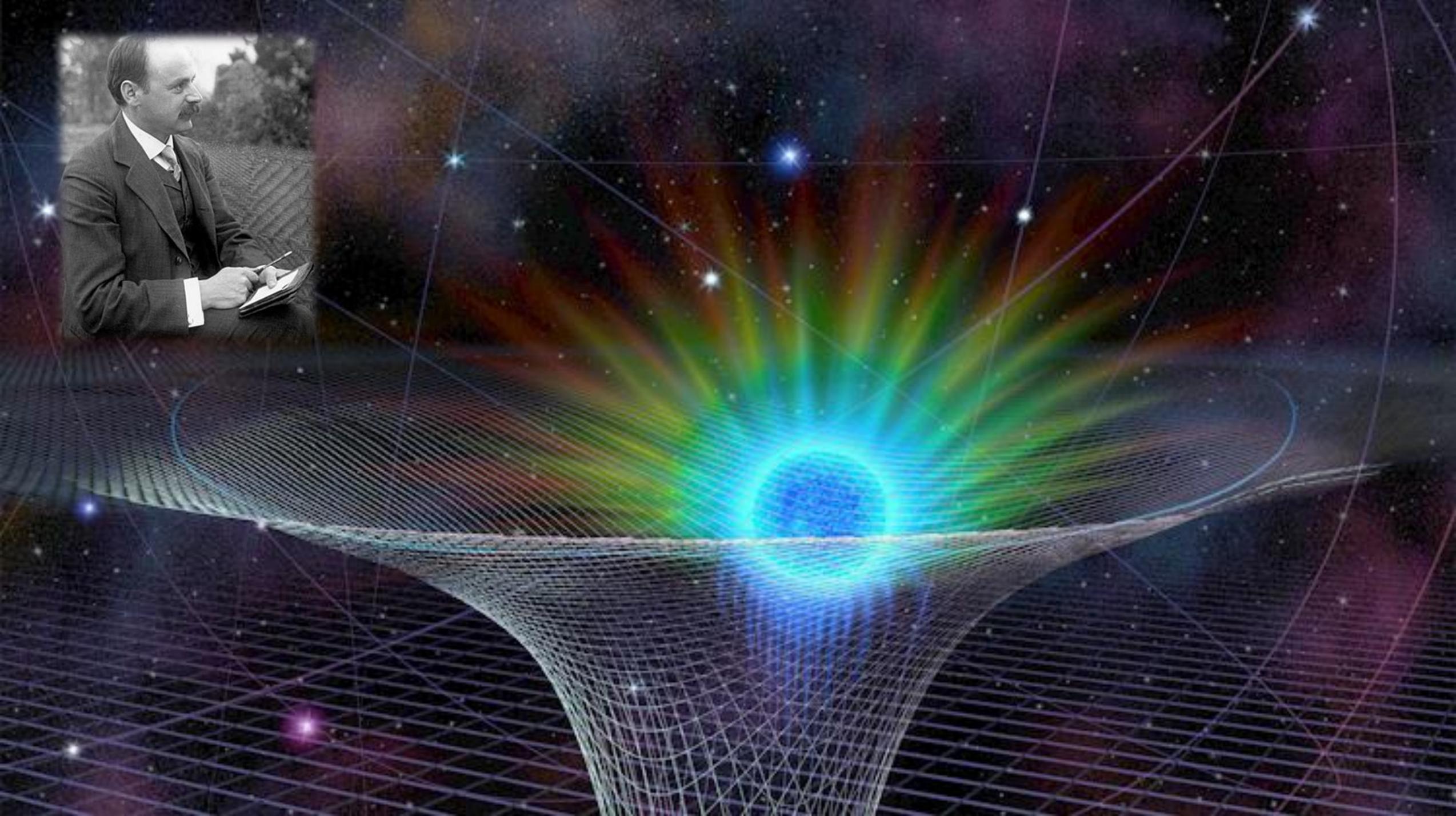
A dramatic space scene featuring a black hole with a glowing accretion disk. The disk is composed of many thin, curved layers of light, creating a sense of motion and depth. A bright light source is visible in the center, surrounded by a dark, circular shadow. The background is a dark, starry space.

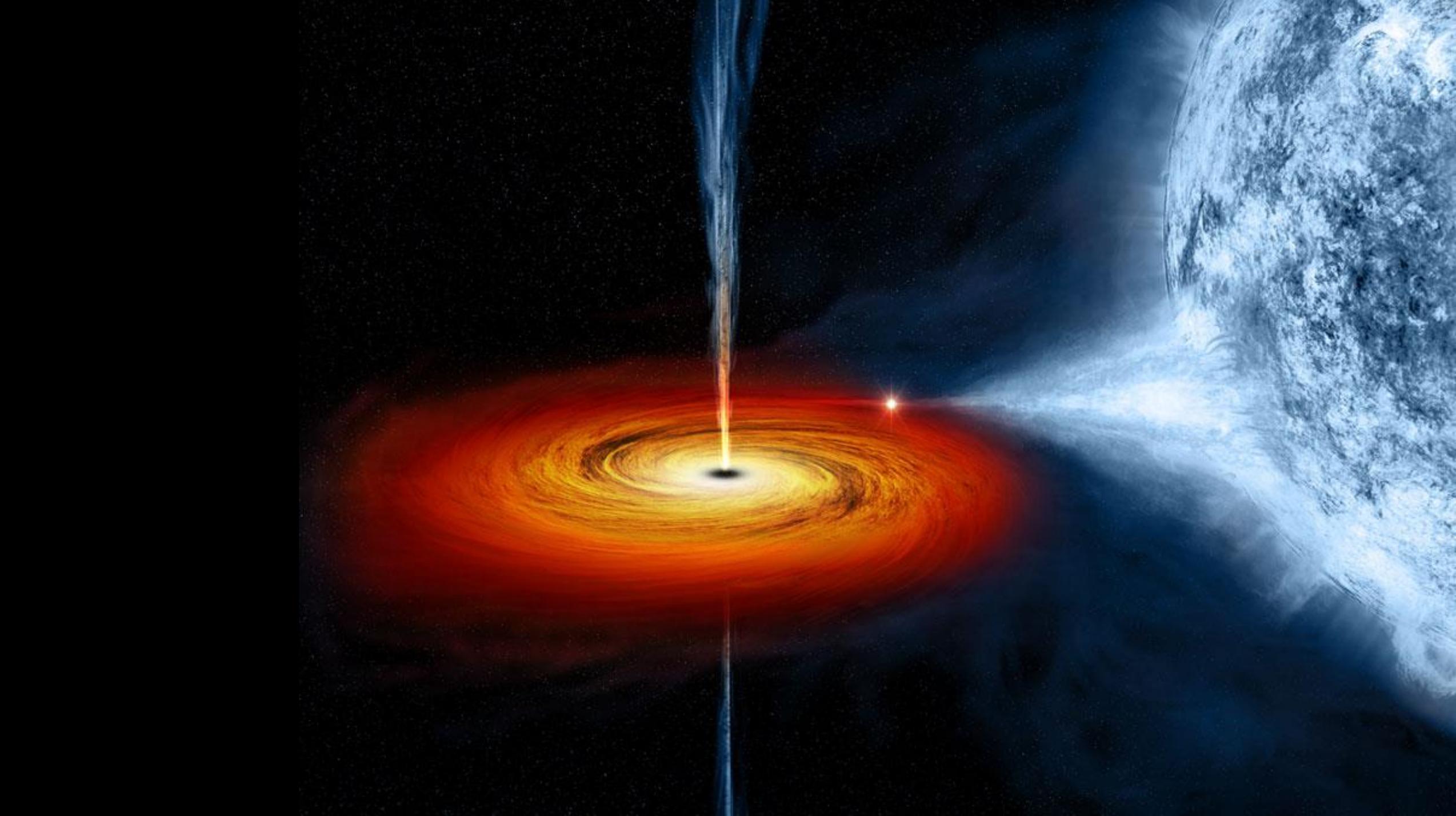
Les trous noirs

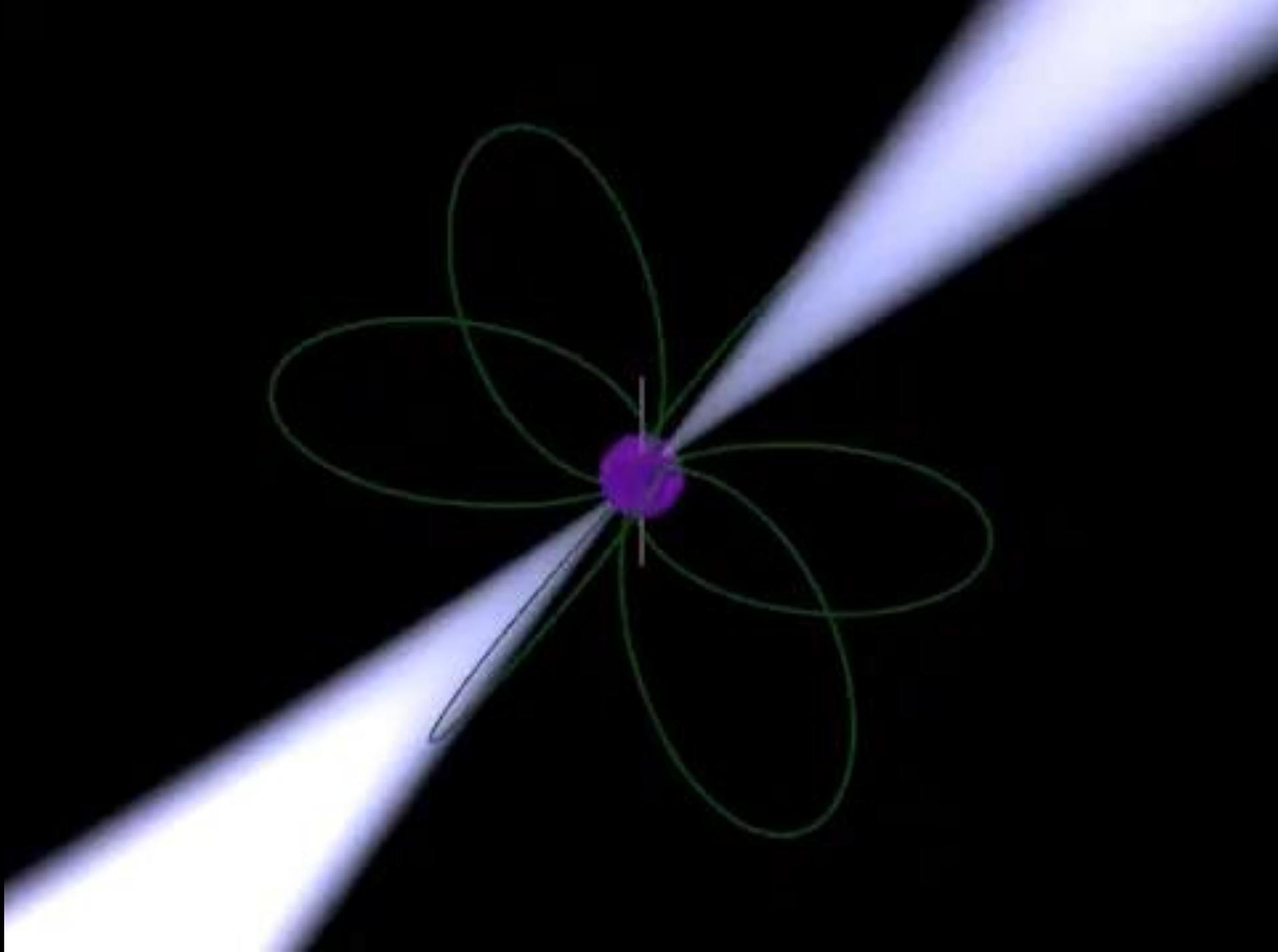
Partie 3

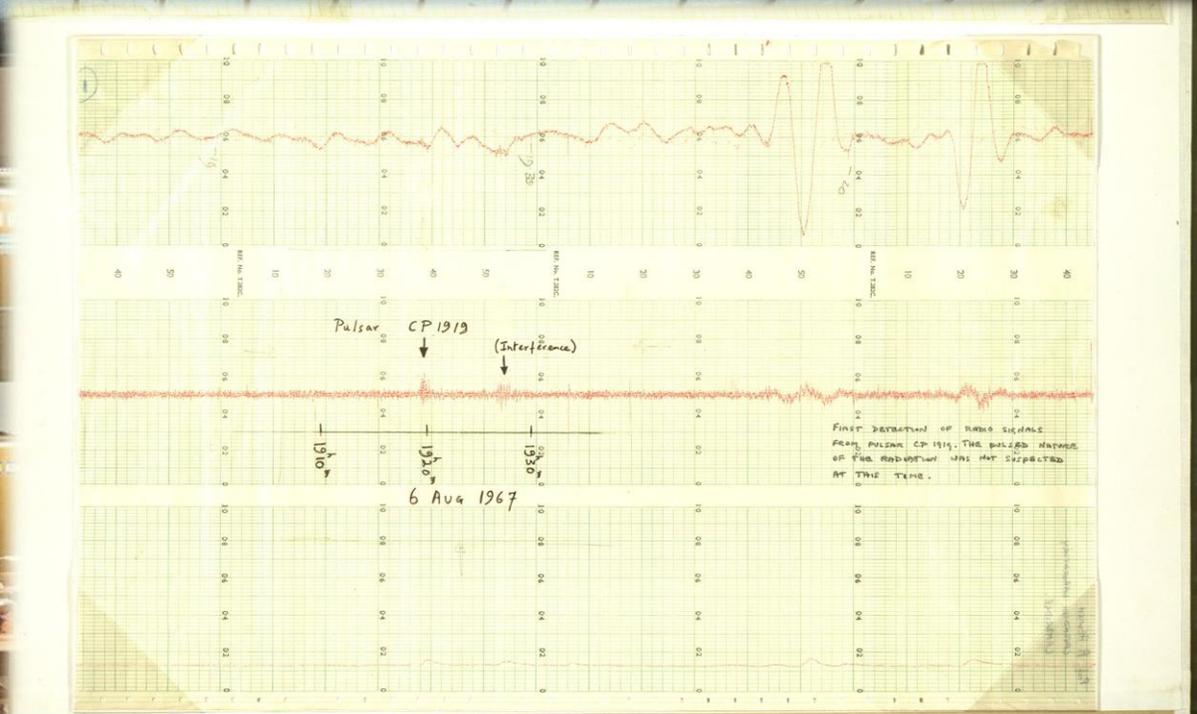


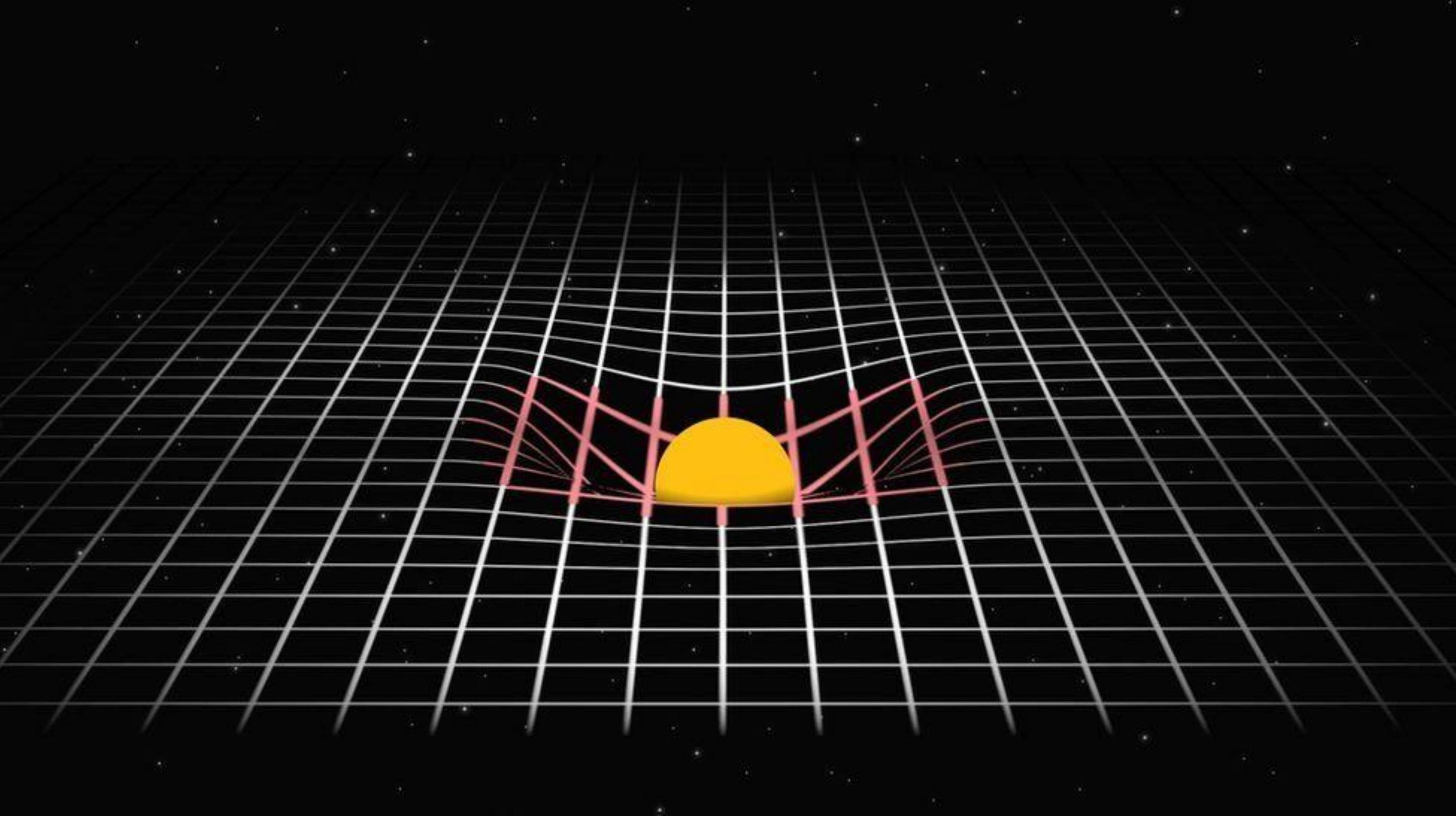
Continuons l'histoire de la gravité















L'Europe a localisé le trou noir central de la Voie Lactée

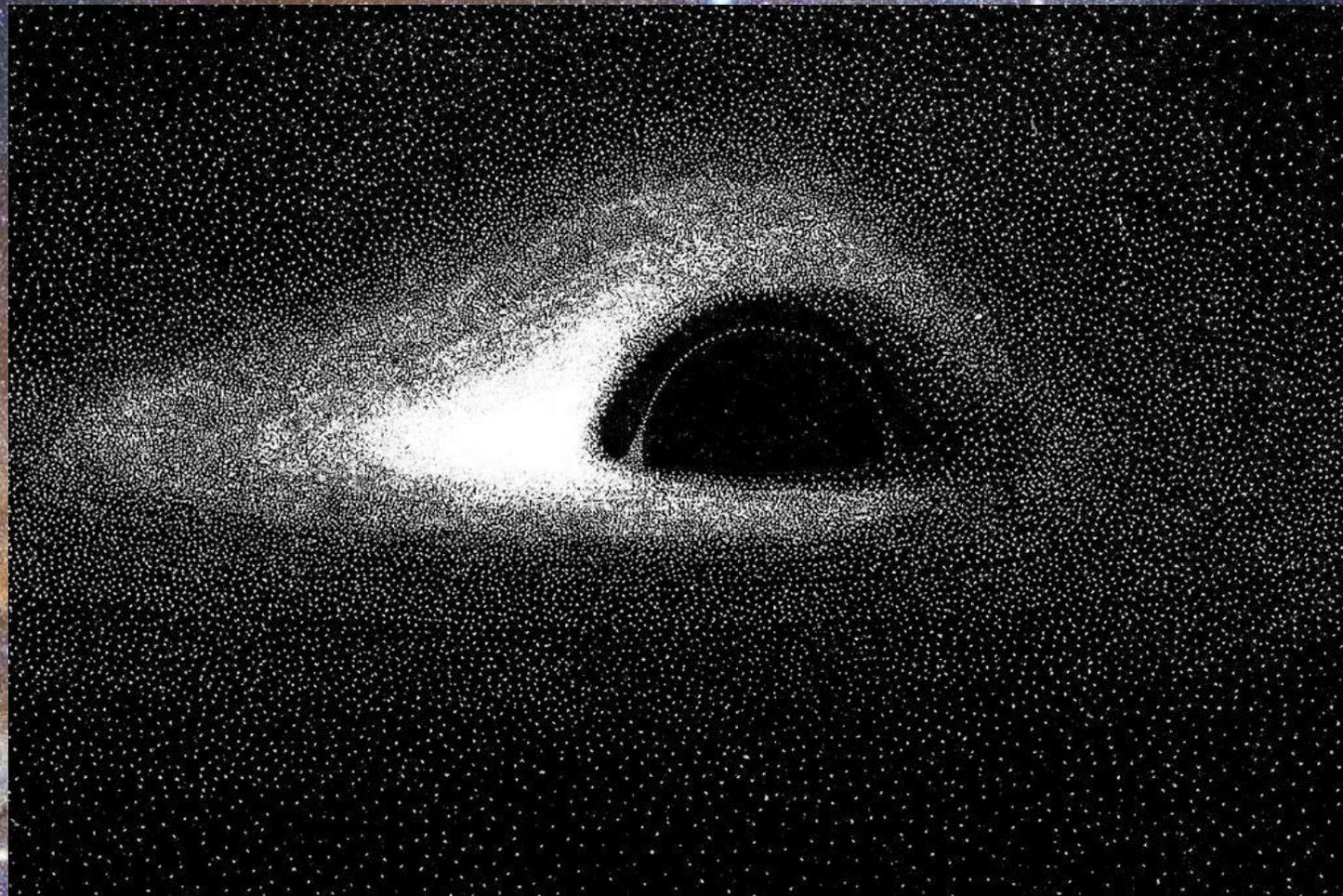
- 20 ans d'observations avec le VLT
- Plus d'une centaine de chercheurs impliqués

CE QUE L'ON SAIT AUJOURD'HUI

- Distance : 26 000 années lumières
- Masse : 4.2 millions de fois la masse du Soleil
- Diamètre < 17 heure lumière

**Observation possible ce soir
à la tombée de la nuit**

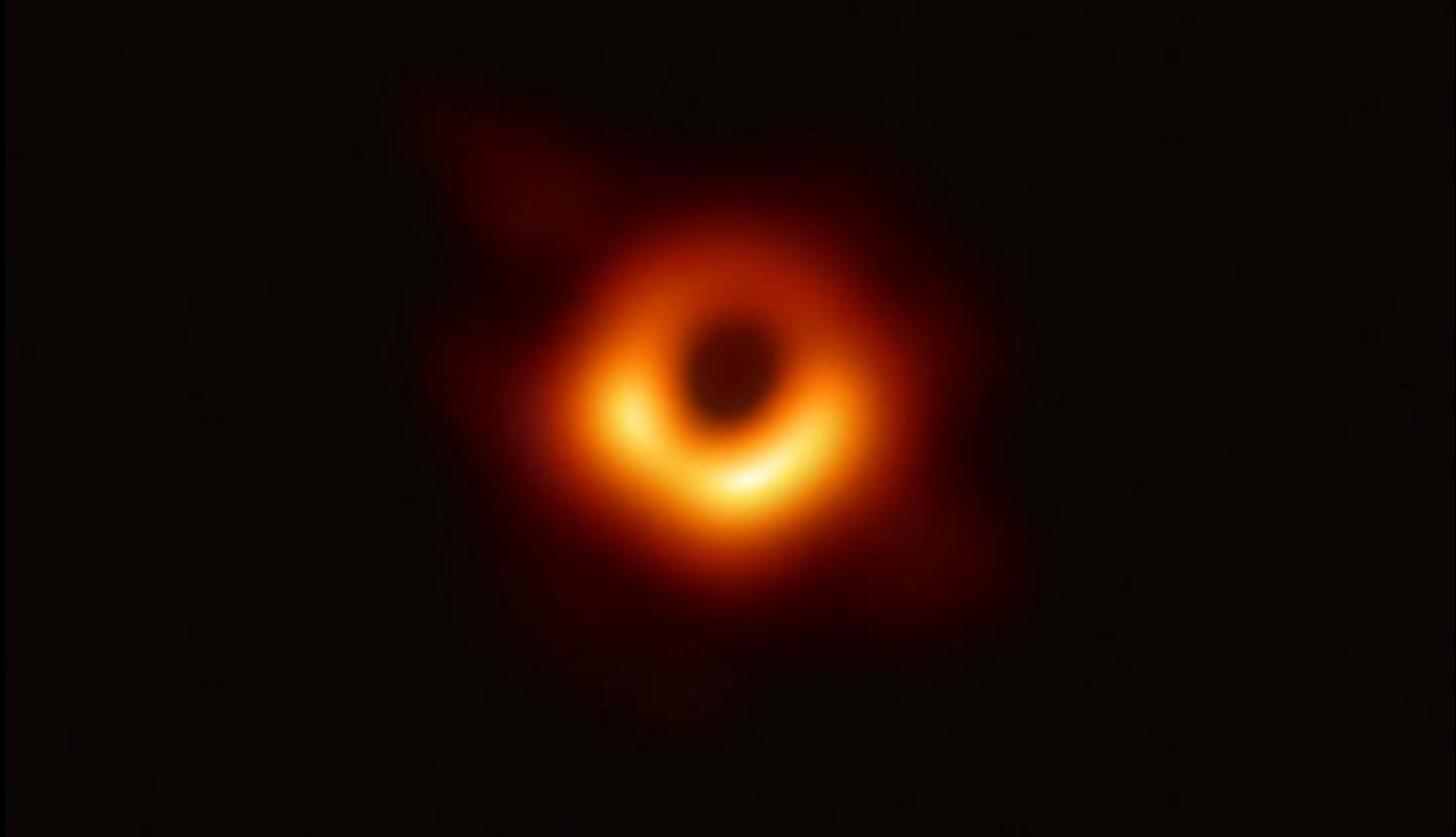


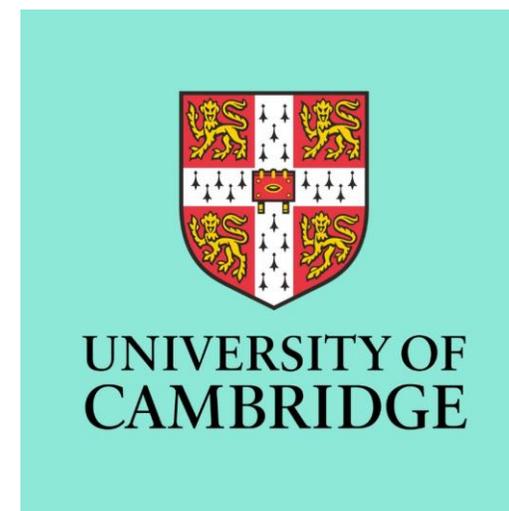
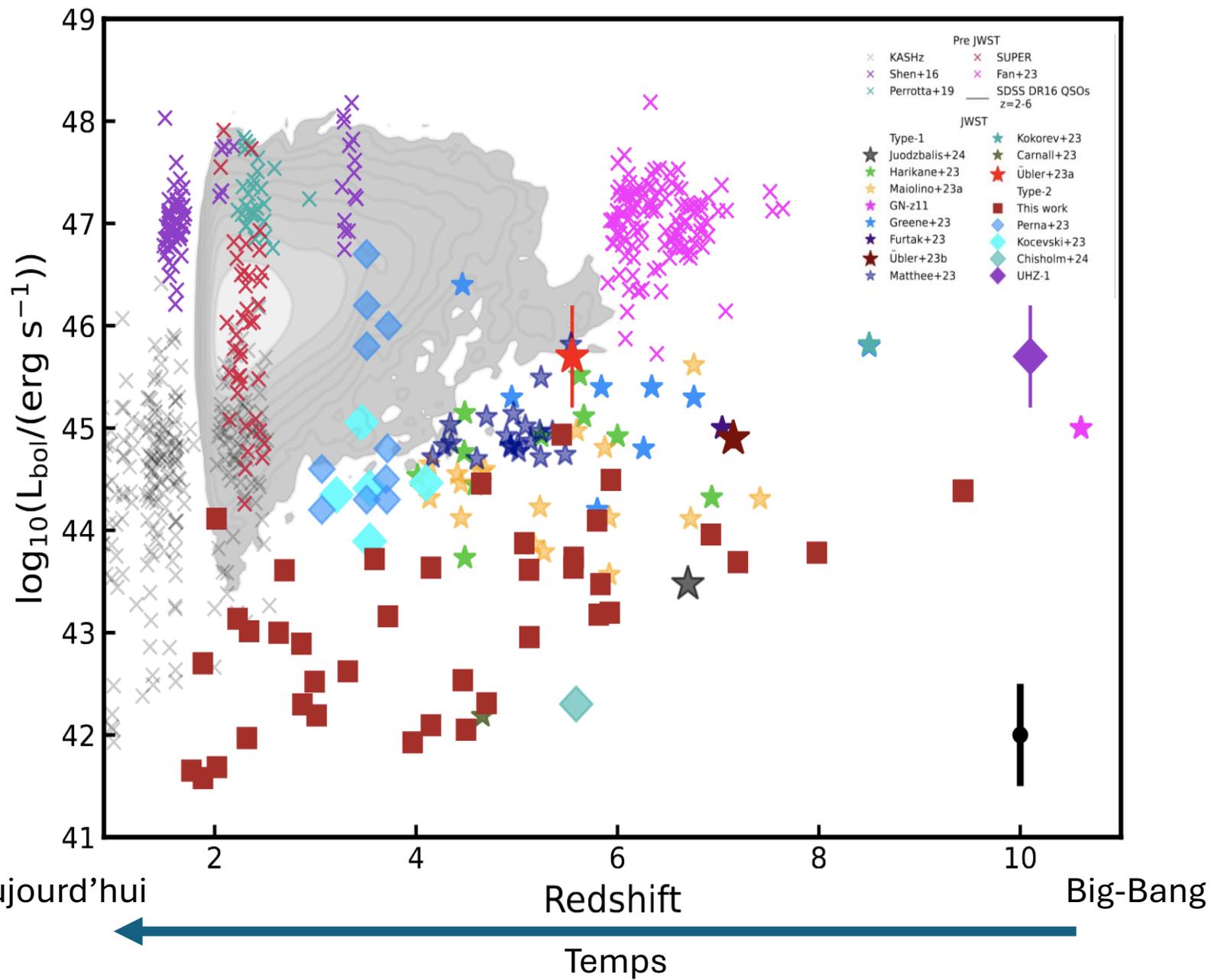


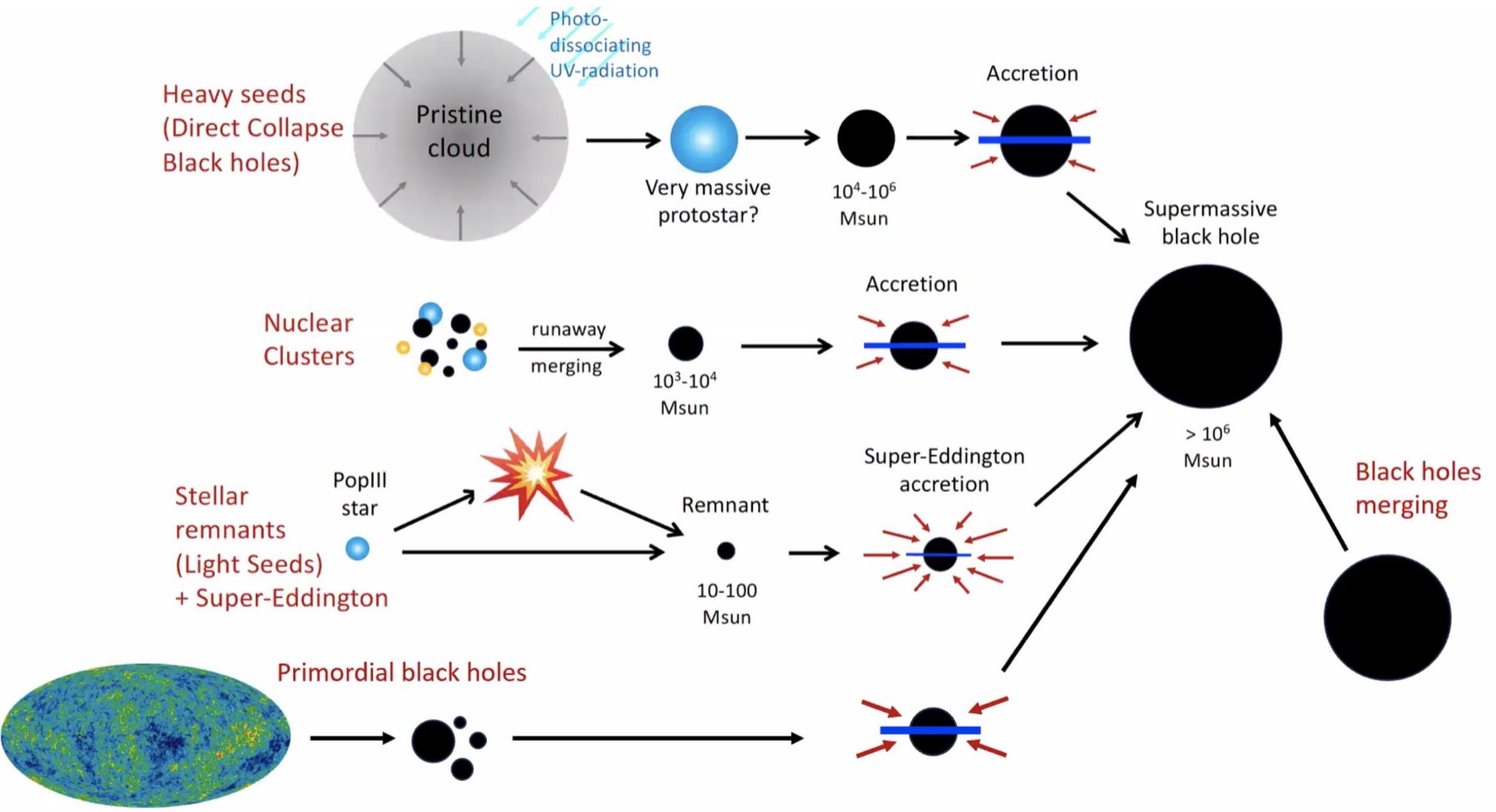
Event Horizon Telescope (EHT)

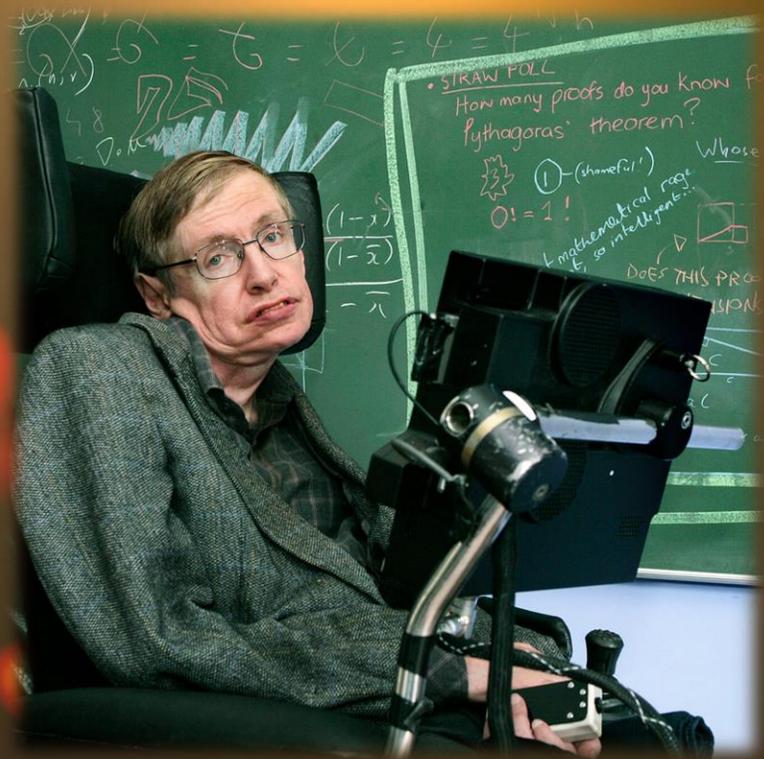
8 télescopes à la poursuite des trous noirs

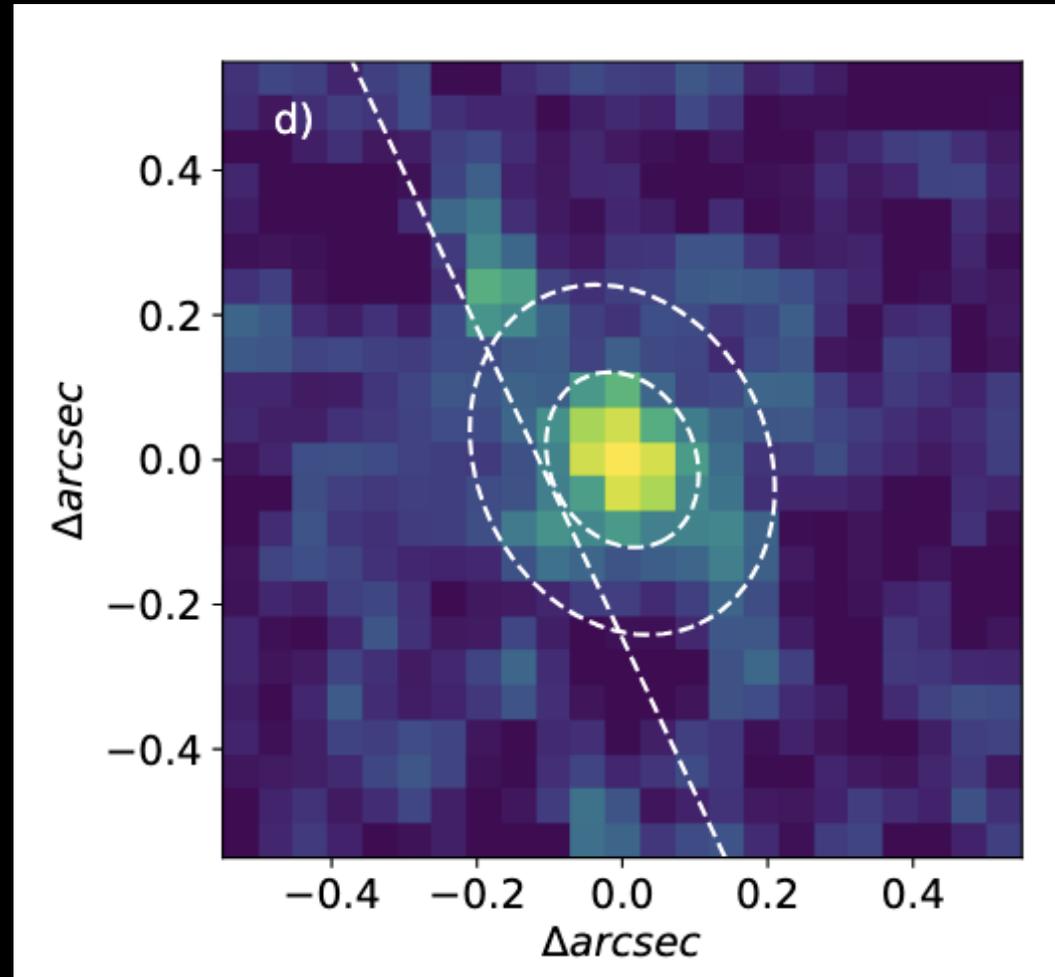










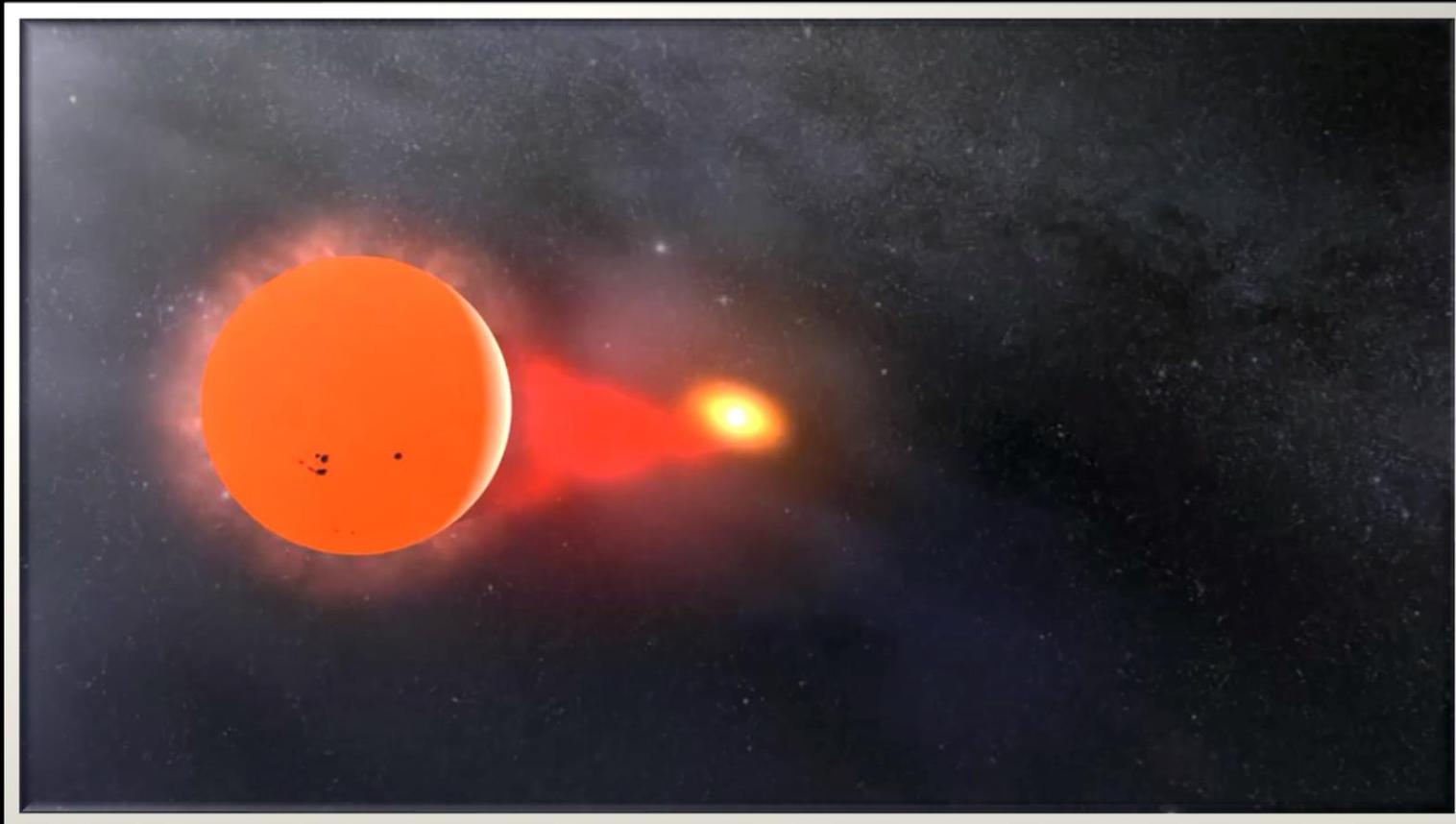




L'énergie noire

Partie 4

Les chandelles standards : les SuperNovae (SNe)



- Une supernova est une explosion d'étoile à la fin de sa vie
- Un type particulier de supernovae, les SNe de Type Ia, est l'explosion d'une naine blanche dans un système binaire.
- La lumière émise par ces SNe est toujours la même
- En observant des SNe de Type Ia dans des galaxies, on peut mesurer :
 - La distance
 - La vitesse

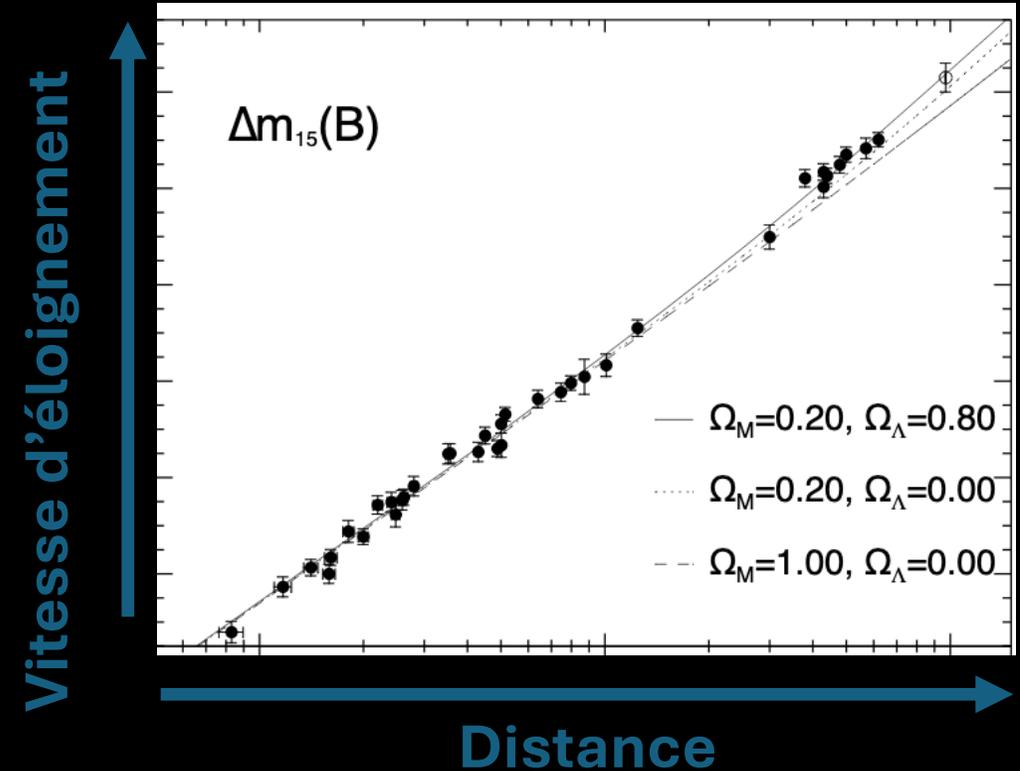
Observations des SNe de Type Ia



Paul Sarlmutter
(1959 -)



Adam Riess
(1969 -)



L'expansion de l'Univers



www.spacetelescope.org

- Les galaxies s'éloignent les unes des autres
- Plus elles sont loin, plus elles s'éloignent vite.

- L'Univers est donc en expansion
- C'est en partant de cette conclusion qu'a été construite la théorie du *Big-Bang*

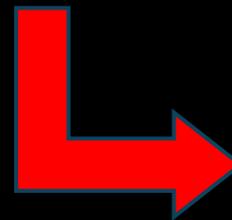
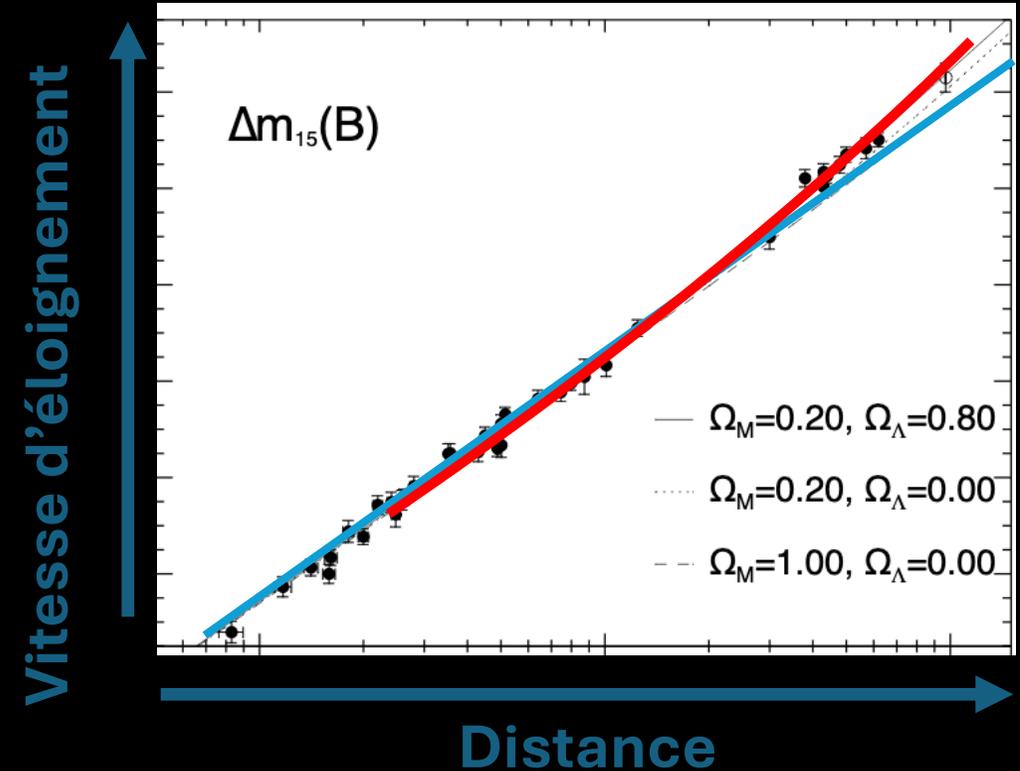
Observations des SNe de Type Ia



Saul Perlmutter
(1959 -)

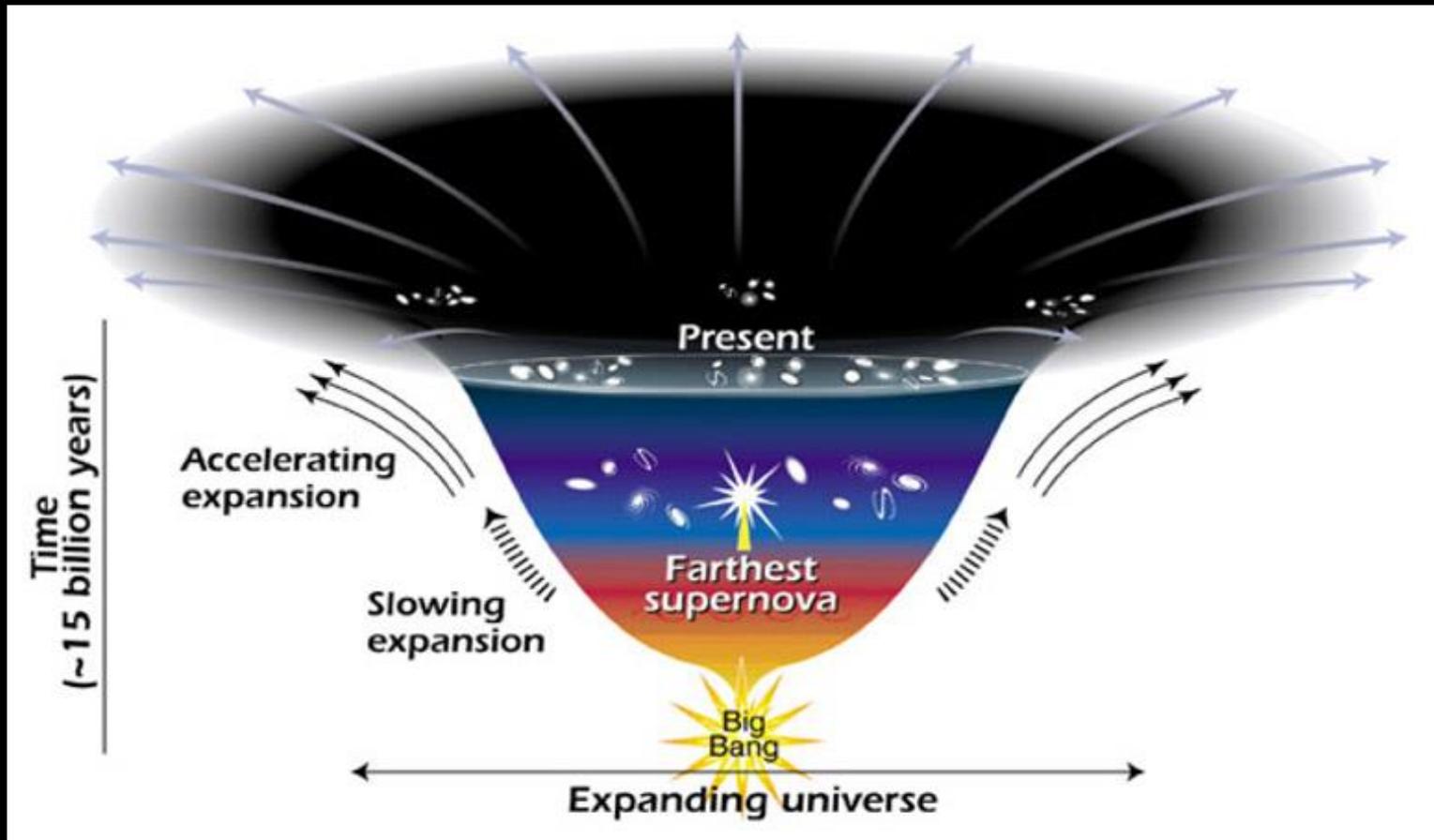


Adam Riess
(1969 -)



**L'expansion de l'Univers
semble s'accélérer.**

L'accélération de l'expansion de l'Univers



- L'expansion de l'Univers a débuté après le *Big-Bang*.
- Par définition le *Big-Bang* correspond à une libération d'énergie. C'est cette énergie qui a entraîné l'expansion de l'Univers
- Si l'expansion s'accélère c'est qu'il y a un apport d'énergie

→ **Energie noire**

Ce que l'on sait aujourd'hui sur l'Énergie Noire

- Elle représenterait 68% de l'énergie totale de l'Univers
- Une des hypothèses les plus « populaires » est qu'elle emmènerait du vide
- Il existe aussi une hypothèse qui porte sur la modification des équations de la relativité générale.
- À ce jour, il n'existe aucune expérience pour mesurer l'énergie du vide





Conclusion

Les 2 grands mystères de la cosmologie moderne

La Matière Noire

- Découverte en 1970 par Vera Rubin
- Elle composerait 80% de la matière dans une galaxie, et formerait un halo autour de chaque galaxie
- Elle serait formée de particules très légères qui n'interagiraient pas avec la matière ordinaire
- La modification des équations de la gravité d'Einstein pourrait également être nécessaire pour expliquer ce phénomène

L'Énergie Noire

- Mise en évidence en 1998 par Saul Perlmutter et Adam Riess
- Elle constituerait 68% de l'énergie totale de l'Univers
- Les travaux récents suggèrent qu'elle pourrait être liée au vide
- À ce jour aucune expérience ne permet de déterminer les propriétés de cette énergie



*Si tu aimes une fleur qui se trouve dans une étoile,
c'est doux la nuit de regarder le ciel*

Antoine de Saint-Exupery



