

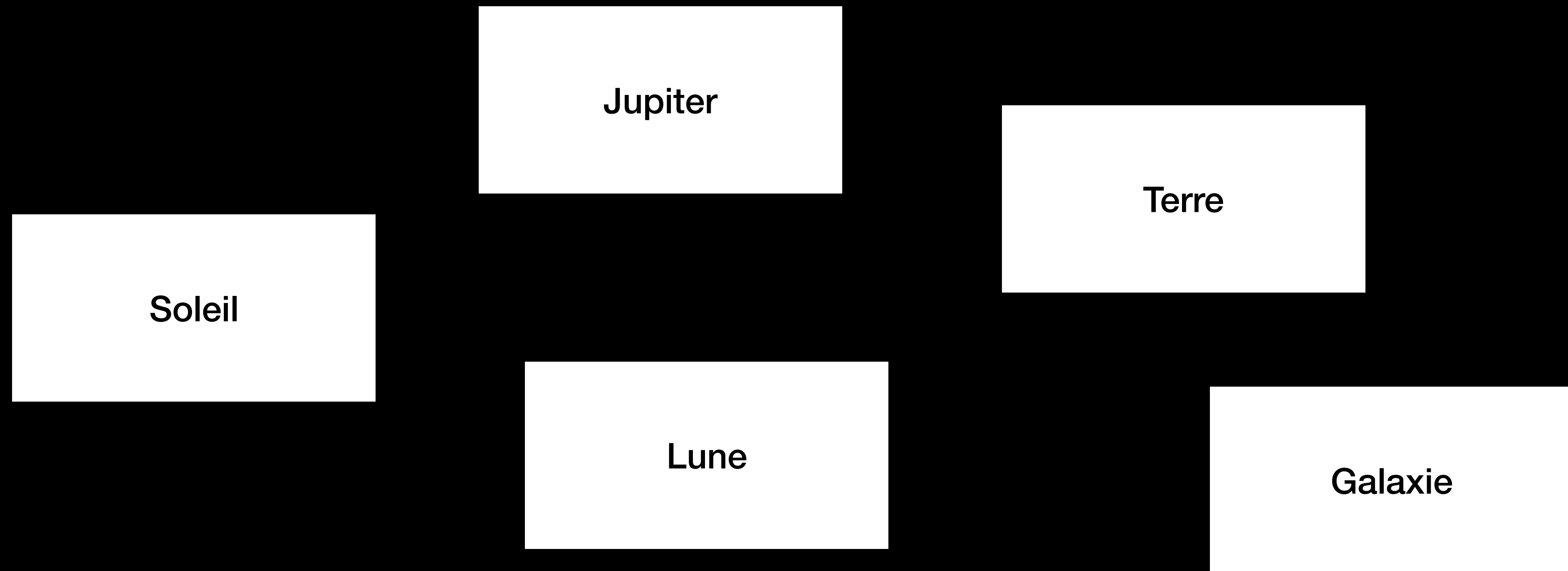
# **Introduction à la Cosmologie**

Pierre Boccard

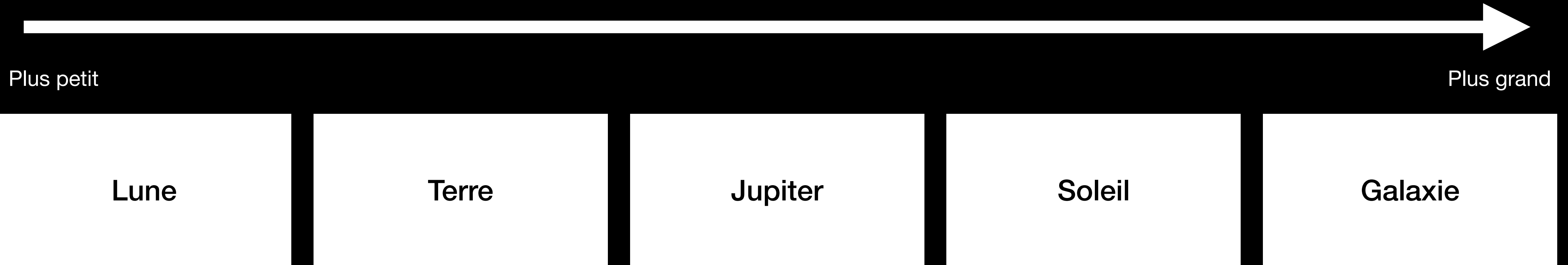
Où sommes nous dans l'Univers ?



# Les échelles cosmiques



# Les échelles cosmiques



# Les échelles cosmiques

# Les échelles cosmiques

**Diamètre Terre**

12 742 km

**Lune - Terre**

384 400 km

1 seconde-lumière

**Soleil – Terre**

150 millions de km

8 min 20 sec-lumière

**Soleil – Proxima du Centaure**

4 années-lumière

**Diamètre Voie Lactée**

105 700 années-lumière

**Galaxie Andromède**

2 millions d'années-lumière

**Univers observable**

93 milliard d'années-lumière

# Les échelles cosmiques

**Diamètre Terre**

12 742 km

**Lune - Terre**

384 400 km

1 seconde-lumière

**Soleil – Terre**

150 millions de km

8 min 20 sec-lumière

**Soleil – Proxima du Centaure**

4 années-lumière

**Diamètre Voie Lactée**

105 700 années-lumière

**Galaxie Andromède**

2 millions d'années-lumière

**Univers observable**

93 milliard d'années-lumière



C'est quoi ?





# C'est quoi ?



La Voie Lactée





C'est quoi ?

La Voie Lactée



# C'est quoi ?

La Voie Lactée



# C'est quoi ?

La Voie Lactée

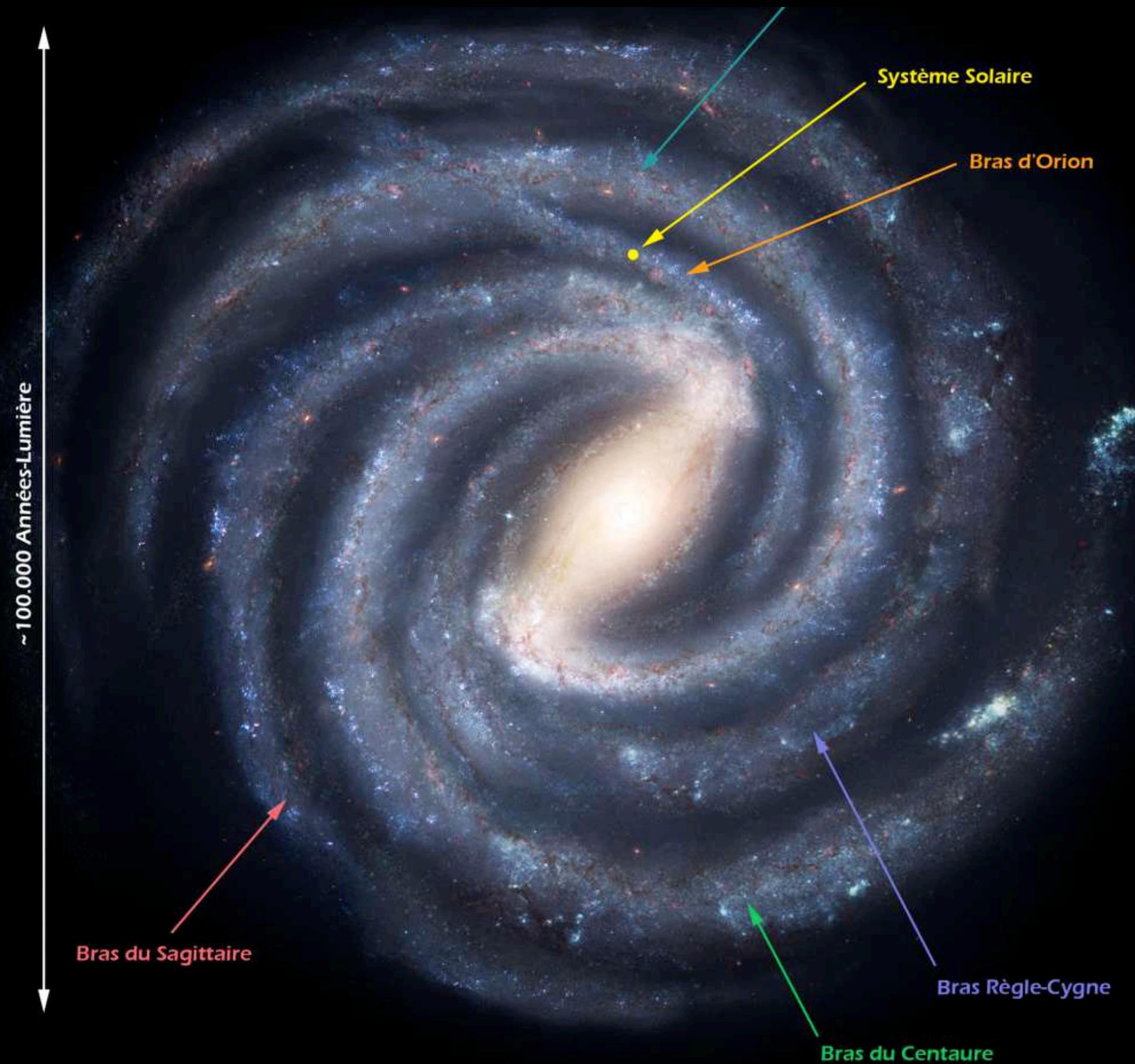


# C'est quoi ?

La Voie Lactée



# Combien d'étoiles dans notre Galaxie ?



La Voie Lactée

12

1000

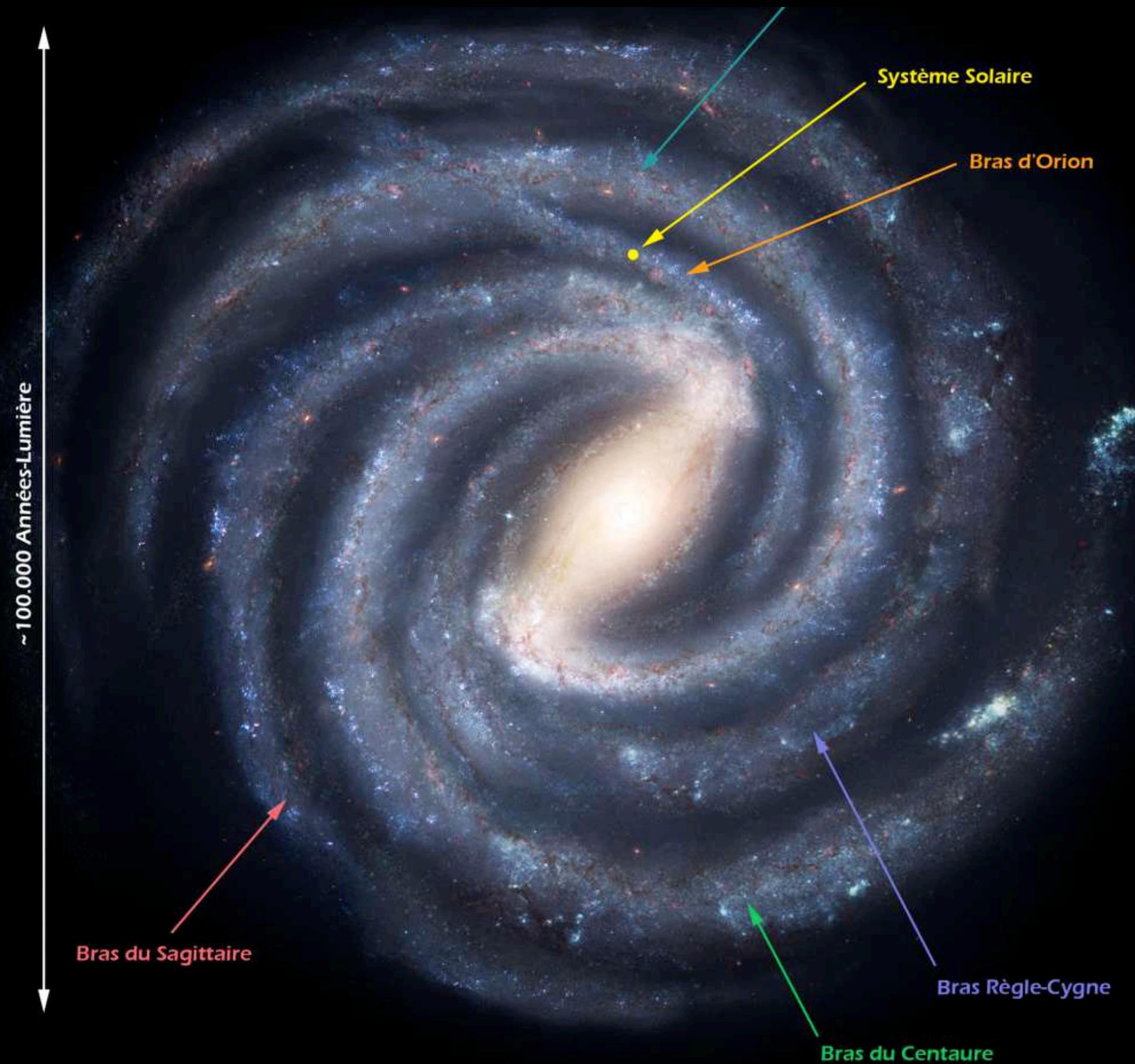
1 000 000

1 000 000 000

100 000 000 000



# Combien d'étoiles dans notre Galaxie ?



La Voie Lactée

12

1000

1 000 000

1 000 000 000

**100 000 000 000**



Est-ce qu'il y a autre chose que des étoiles ?





# Est-ce qu'il y a autre chose que des étoiles ?



**Charles Messier**

@Username

Ceci n'est pas une comète!

12:00 PM · Jul 3, 1781

50 Retweets

12 Quote Tweets

8 Likes





# Les nébuleuses de Messier



Charles Messier

@Username

Ceci n'est pas une comète!

12:00 PM · Jul 3, 1781

50 Retweets

12 Quote Tweets

8 Likes





# M57 - Restes d'une explosion d'étoile

# Les nébuleuses de Messier



Charles Messier

@Username

Ceci n'est pas une comète!

12:00 PM · Jul 3, 1781

50 Retweets

12 Quote Tweets

8 Likes





# M45 - Les Pleiades



# Les nébuleuses de Messier



**Charles Messier**  
@Username

Ceci n'est pas une comète!

12:00 PM · Jul 3, 1781

50 Retweets 12 Quote Tweets 8 Likes





# M15 - Amas d'étoiles

# Les nébuleuses de Messier



**Charles Messier**

@Username

Ceci n'est pas une comète!

12:00 PM · Jul 3, 1781

50 Retweets

12 Quote Tweets

8 Likes





# M16 - Nebuleuse de l'aigle



# Les nébuleuses de Messier



**Charles Messier**

@Username

Ceci n'est pas une comète!

12:00 PM · Jul 3, 1781

50 Retweets

12 Quote Tweets

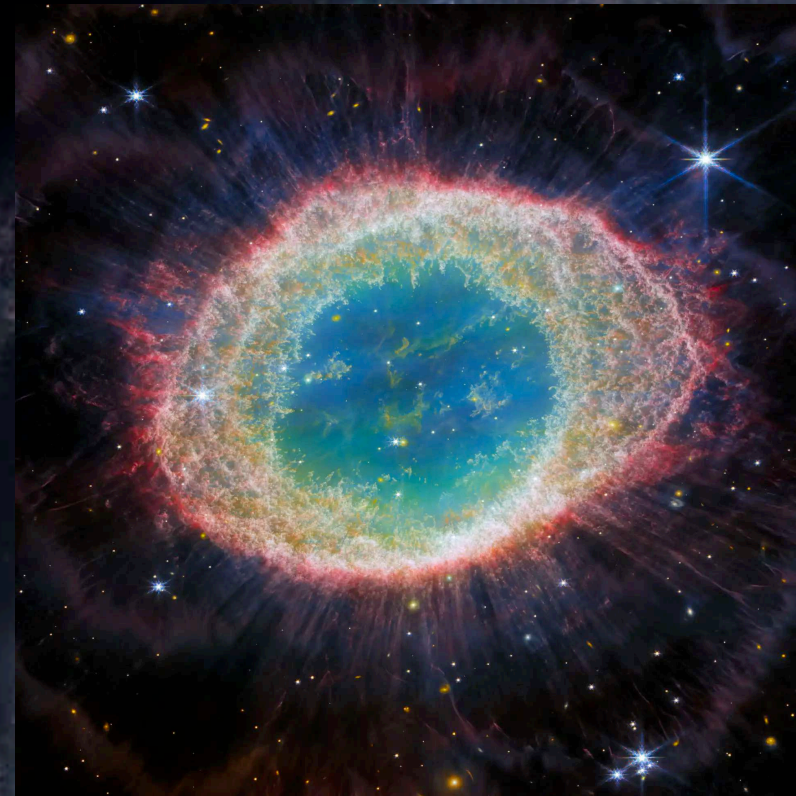
8 Likes





# Qu'est-ce qu'il y a au-delà ?

M57



M45



Système Solaire

M15



M16



Bras du Sagittaire

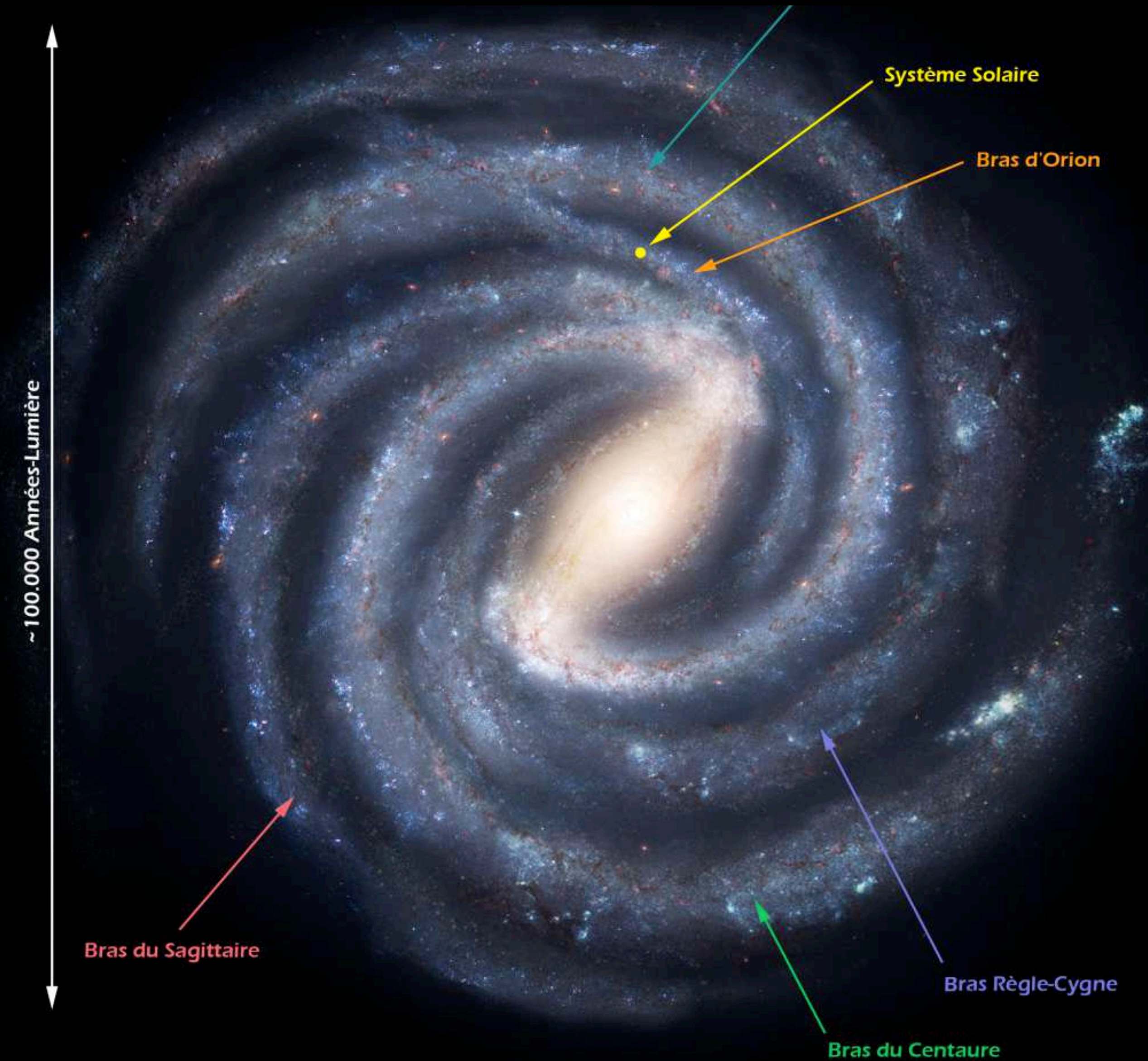
Bras Règle-Cygne

Bras du Centaure

~ 100.000 Années-Lumière



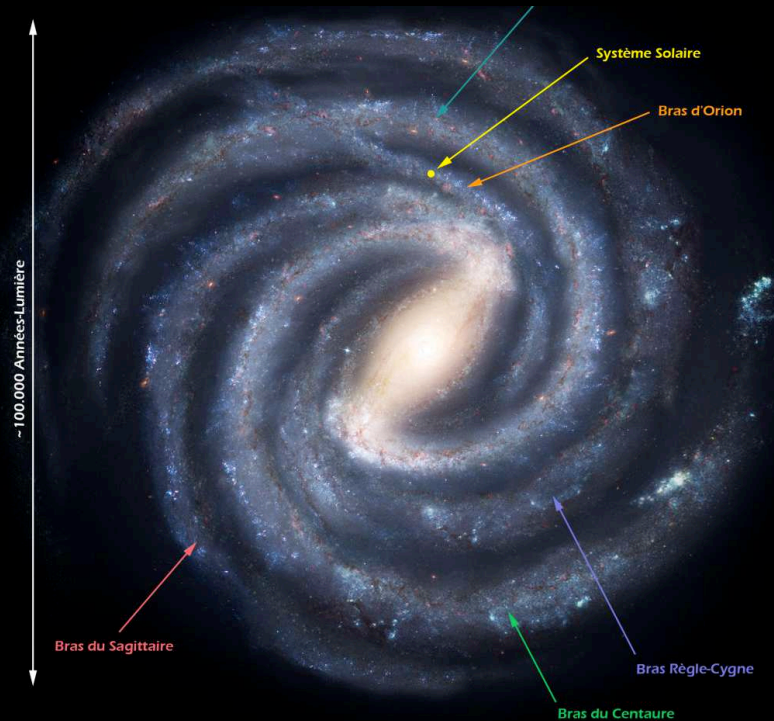
# Qu'est-ce qu'il y a au-delà ?





# Qu'est-ce qu'il y a au-delà ?

M31 - Galaxie d'Andromède



La Voie Lactée

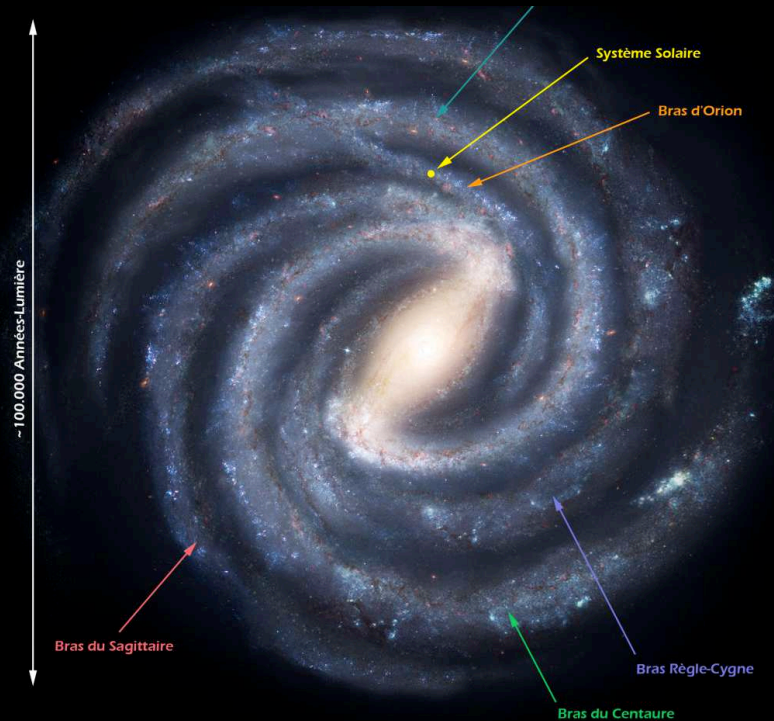


Une autre galaxie comme la nôtre !



# Qu'est-ce qu'il y a au-delà ?

M31 - Galaxie d'Andromède



La Voie Lactée

Une autre galaxie comme la nôtre !



# Combien de galaxies dans notre Univers ?

12

1000

1 000 000 (million)

1 000 000 000 (milliard)

500 000 000 000

1 000 000 000 000 (billion)

1 000 000 000 000 000 (billiard)





# Combien de galaxies dans notre Univers ?

12

1000

1 000 000 (million)

1 000 000 000 (milliard)

**500 000 000 000**

1 000 000 000 000 (billion)

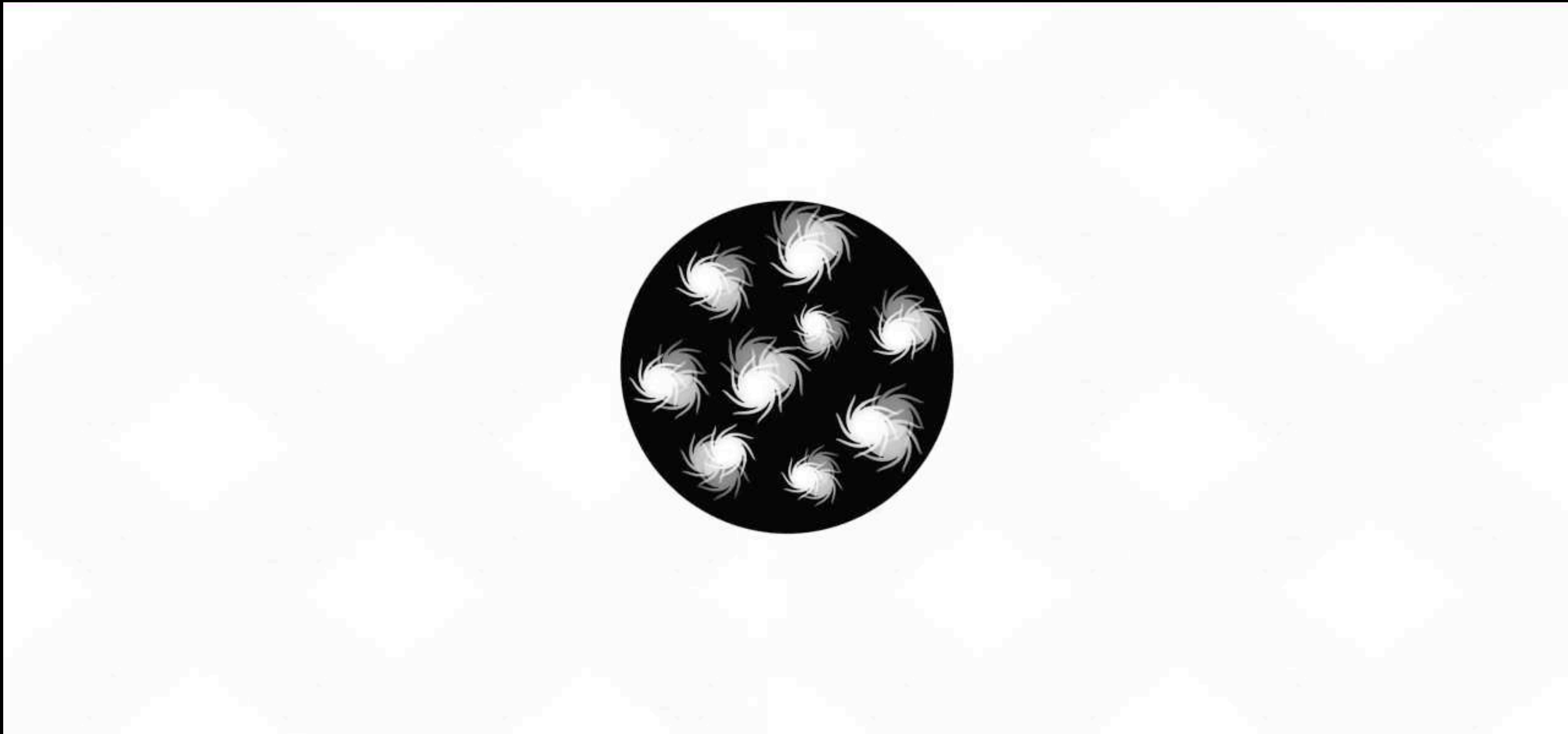
1 000 000 000 000 000 (billiard)





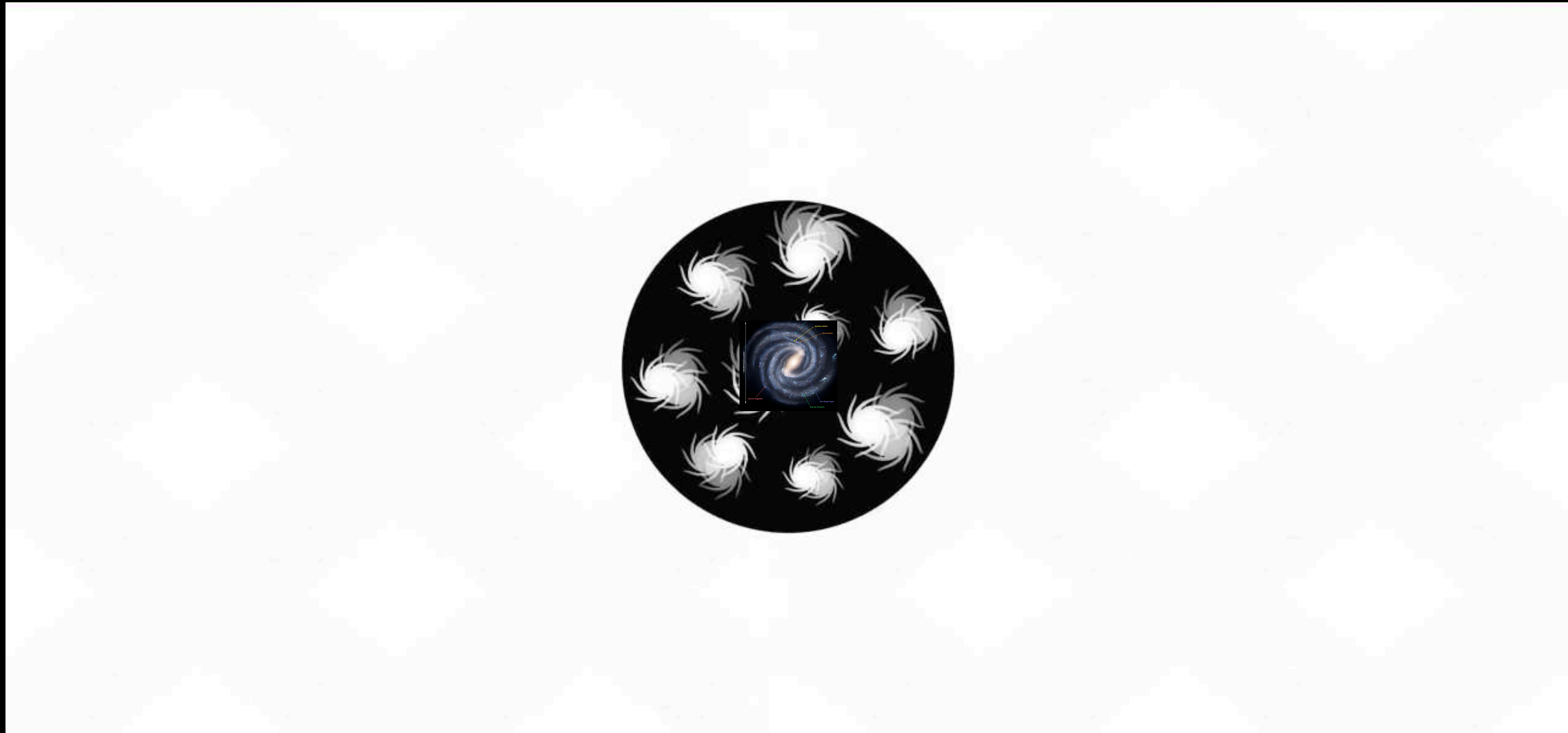
# L'expansion de l'Univers

# L'expansion de l'Univers



Distance entre galaxies augmente...

# L'expansion de l'Univers



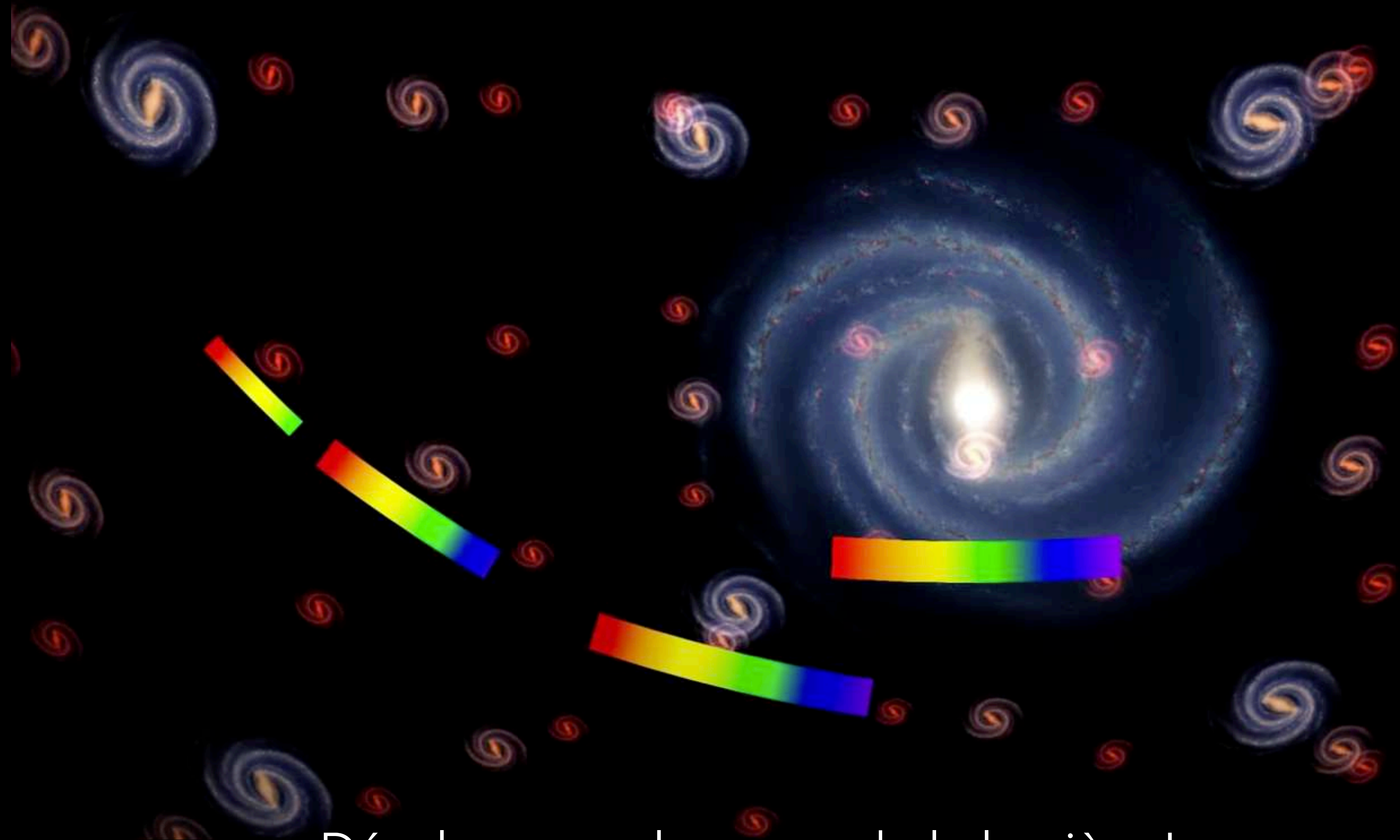
Distance entre galaxies augmente...

# L'expansion de l'Univers



Distance entre galaxies augmente...  
... et les plus lointaines vont plus vite !

# L'expansion de l'Univers



Décalage vers le rouge de la lumière !



# L'expansion de l'Univers

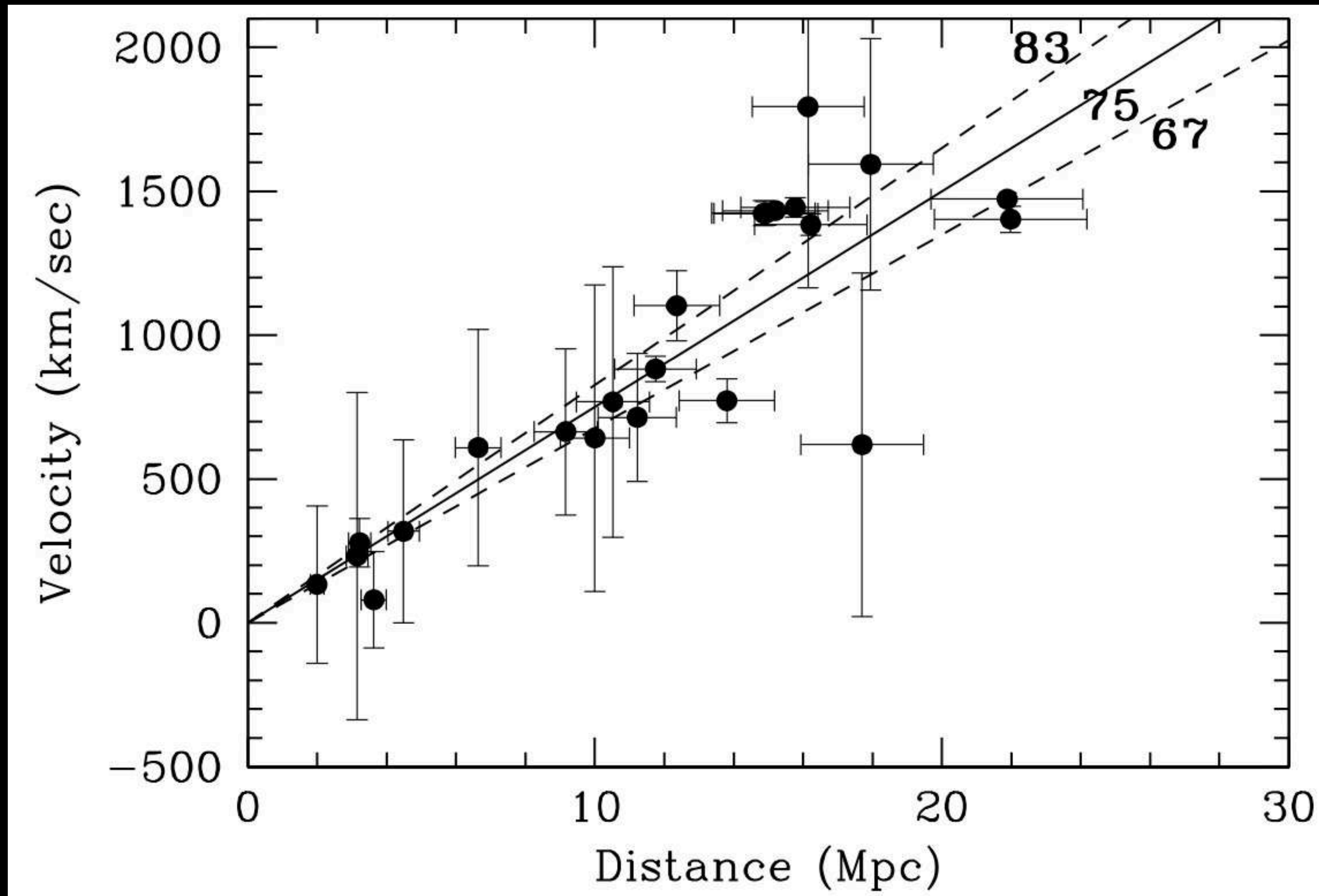


Effet Doppler du son et de la lumière



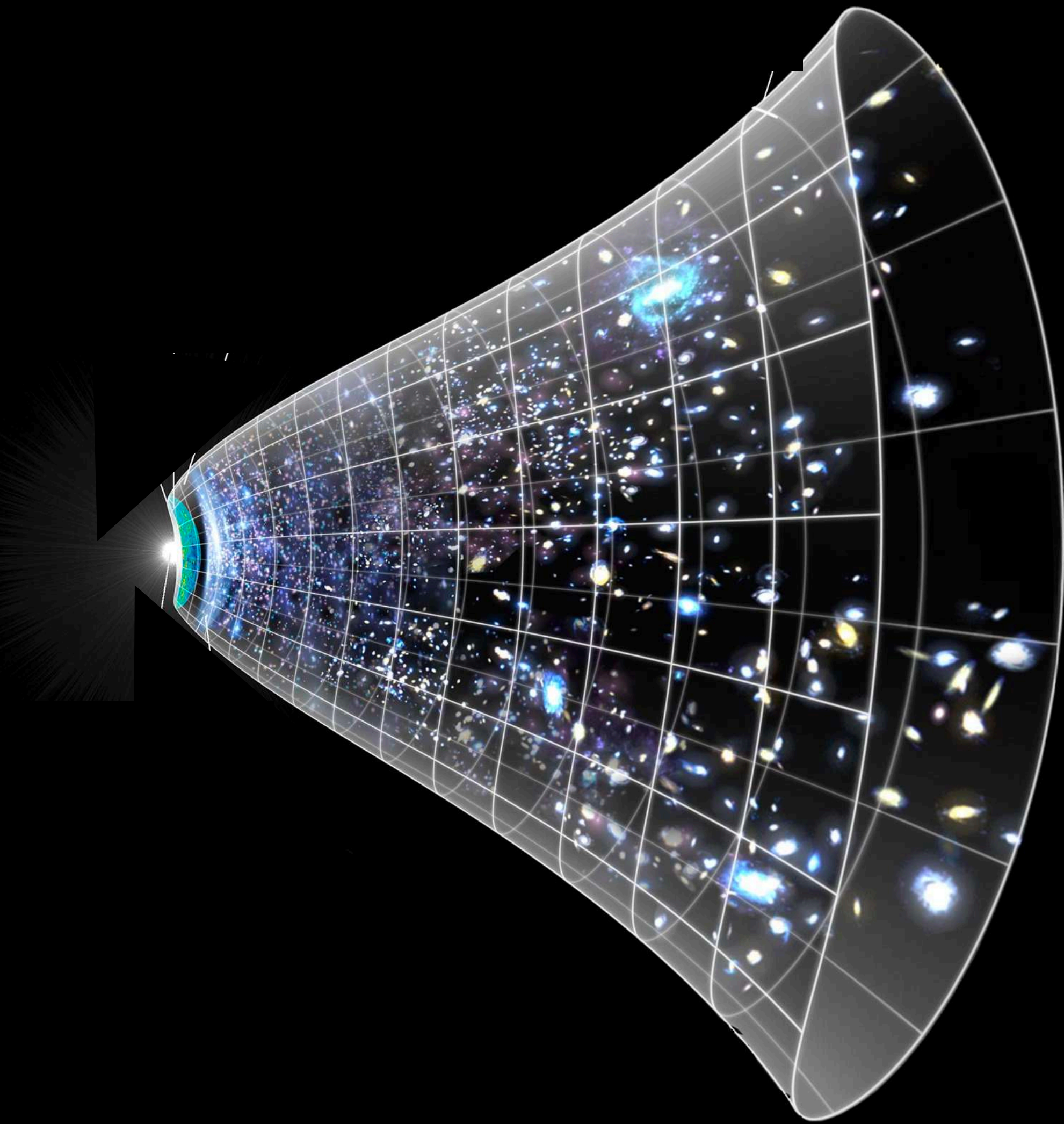
# L'expansion de l'Univers

Vitesse en km/s  
(décalage vers le rouge)



1 Mpc = 3 millions d'années lumière





Observations



Théorie



Georges Gamow

@GG

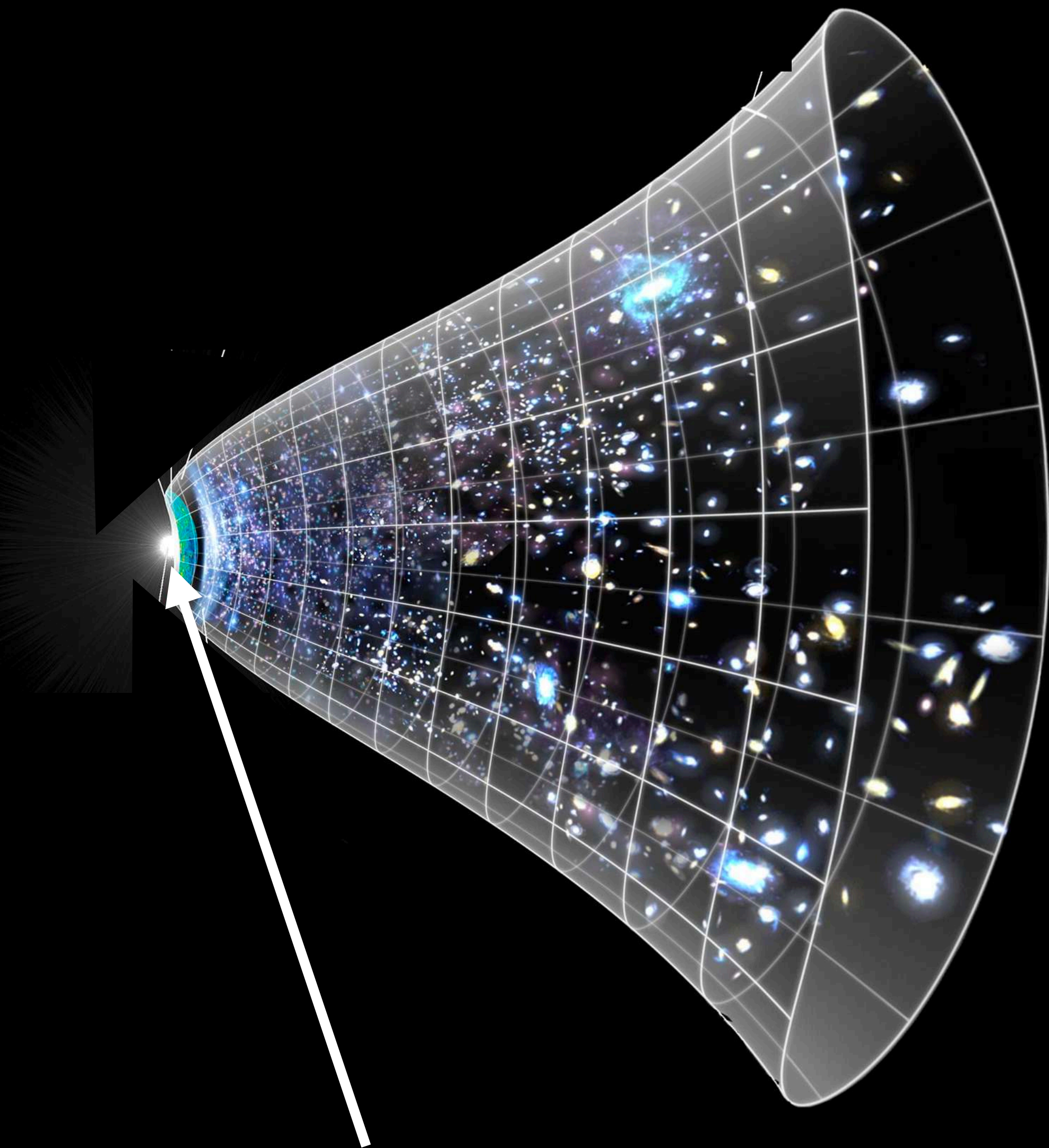


Mais du coup si l'univers grandit, ça voudrait ti pas dire que avant il était tout petit?

12:00 PM · Jul 3, 1946







Big Bang ?

Observations



Théorie



Georges Gamow

@GG

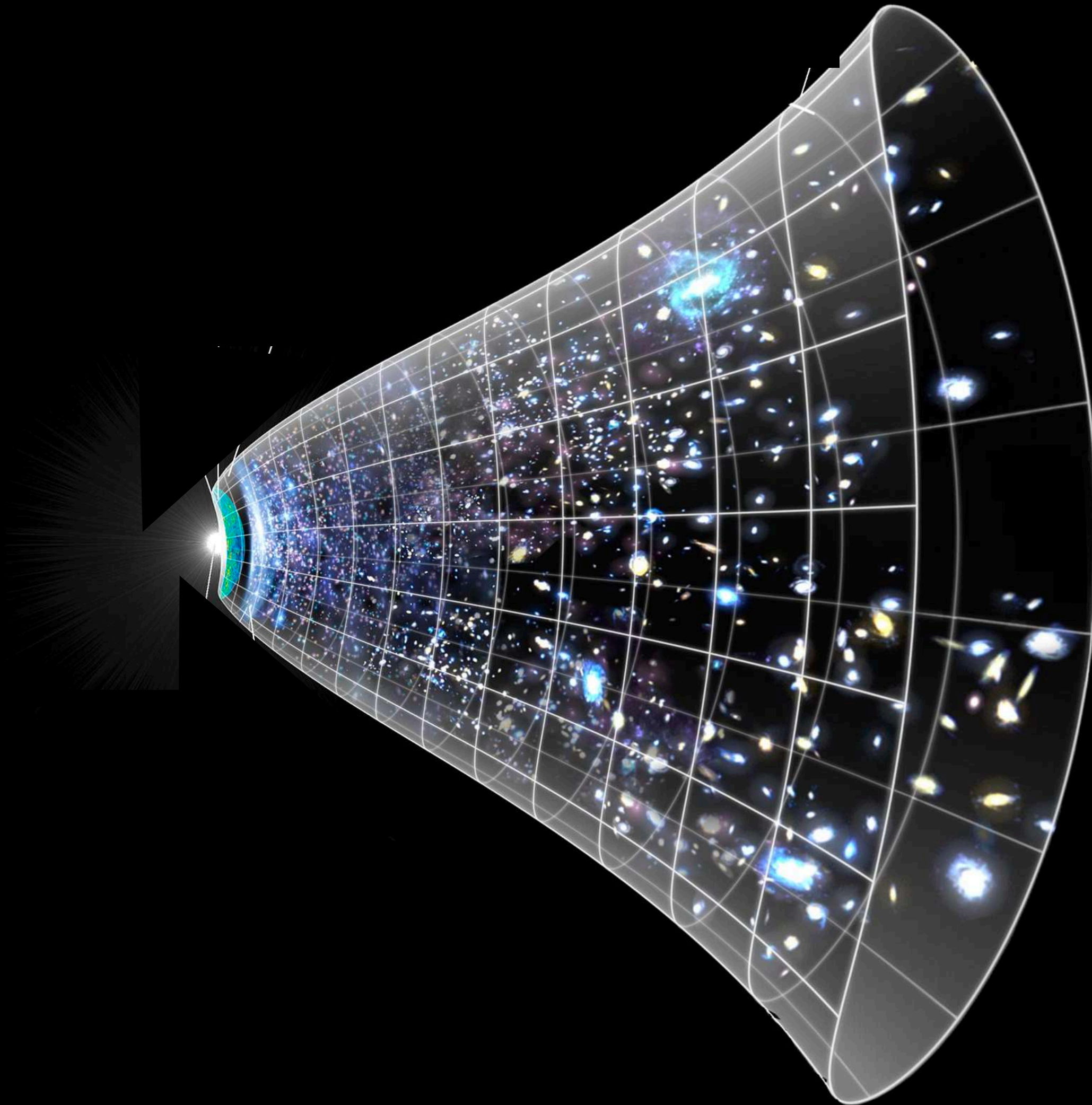
Mais du coup si l'univers grandit, ça voudrait ti pas dire que avant il était tout petit?

12:00 PM · Jul 3, 1946



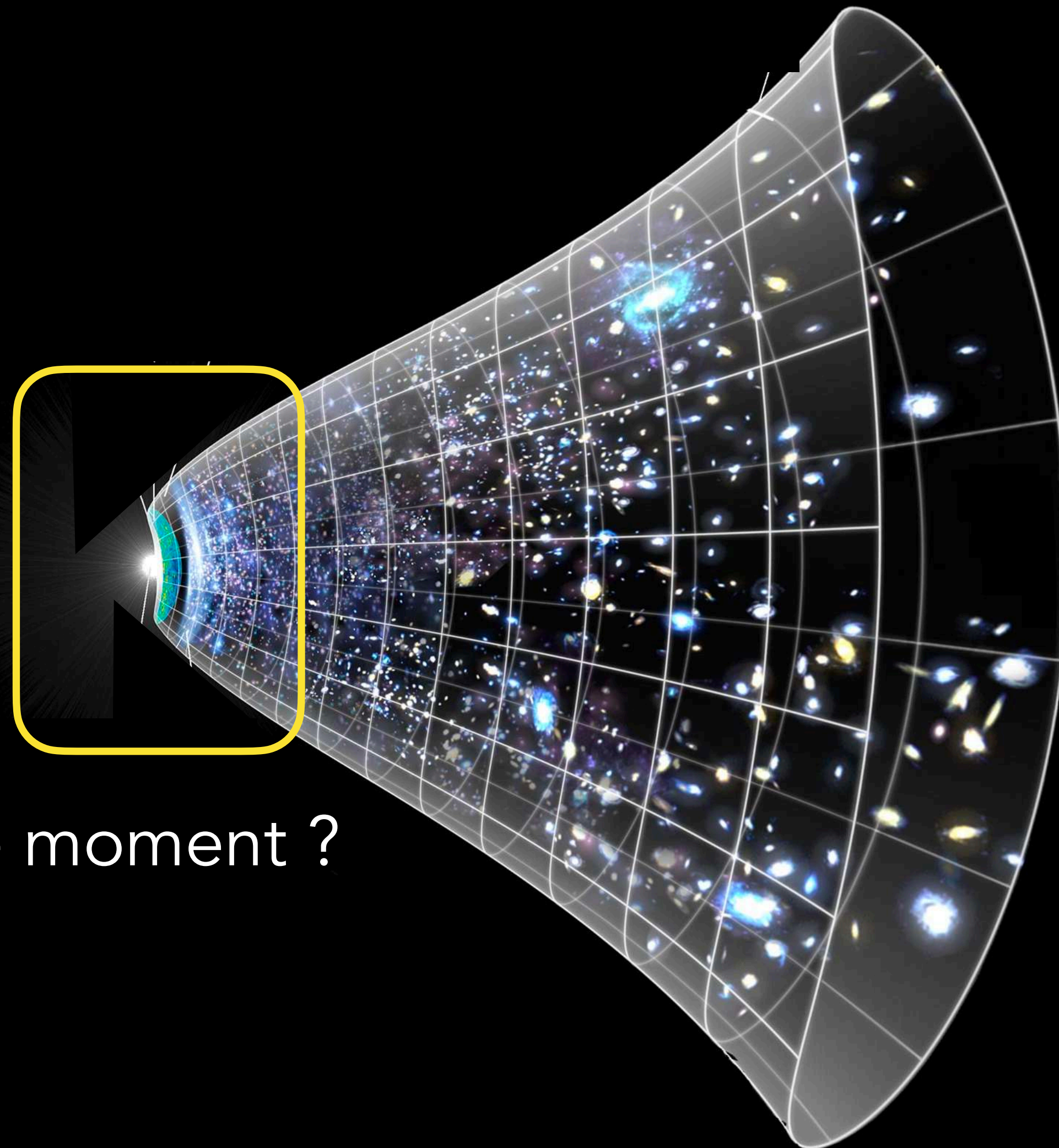


# Et pour le Big Bang ?





# Et pour le Big Bang ?

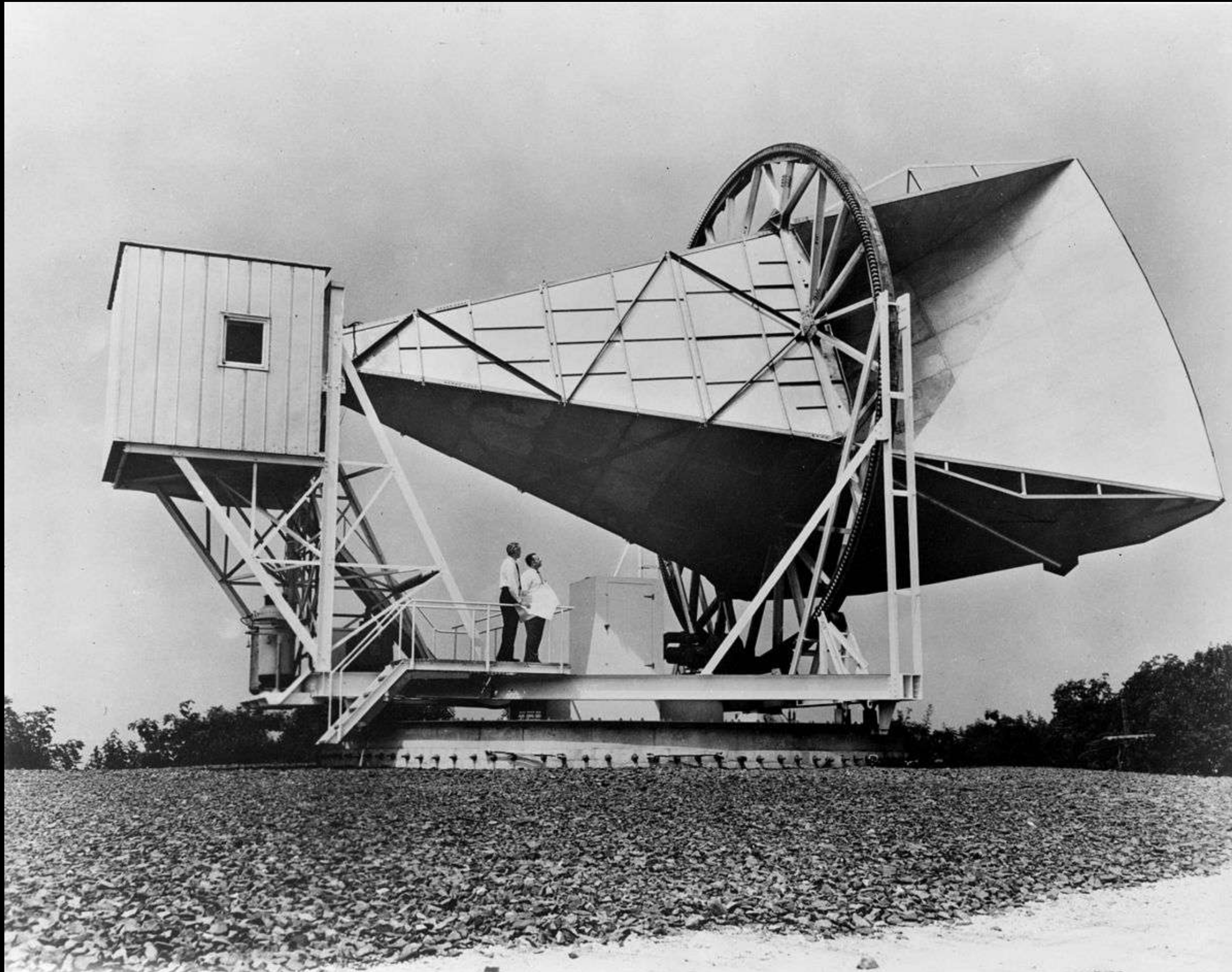


Peut-on observer ce moment ?



# Et pour le Big Bang ?

Observations  $\longrightarrow$  Théorie  $\xrightarrow{\text{Test}}$  Observations

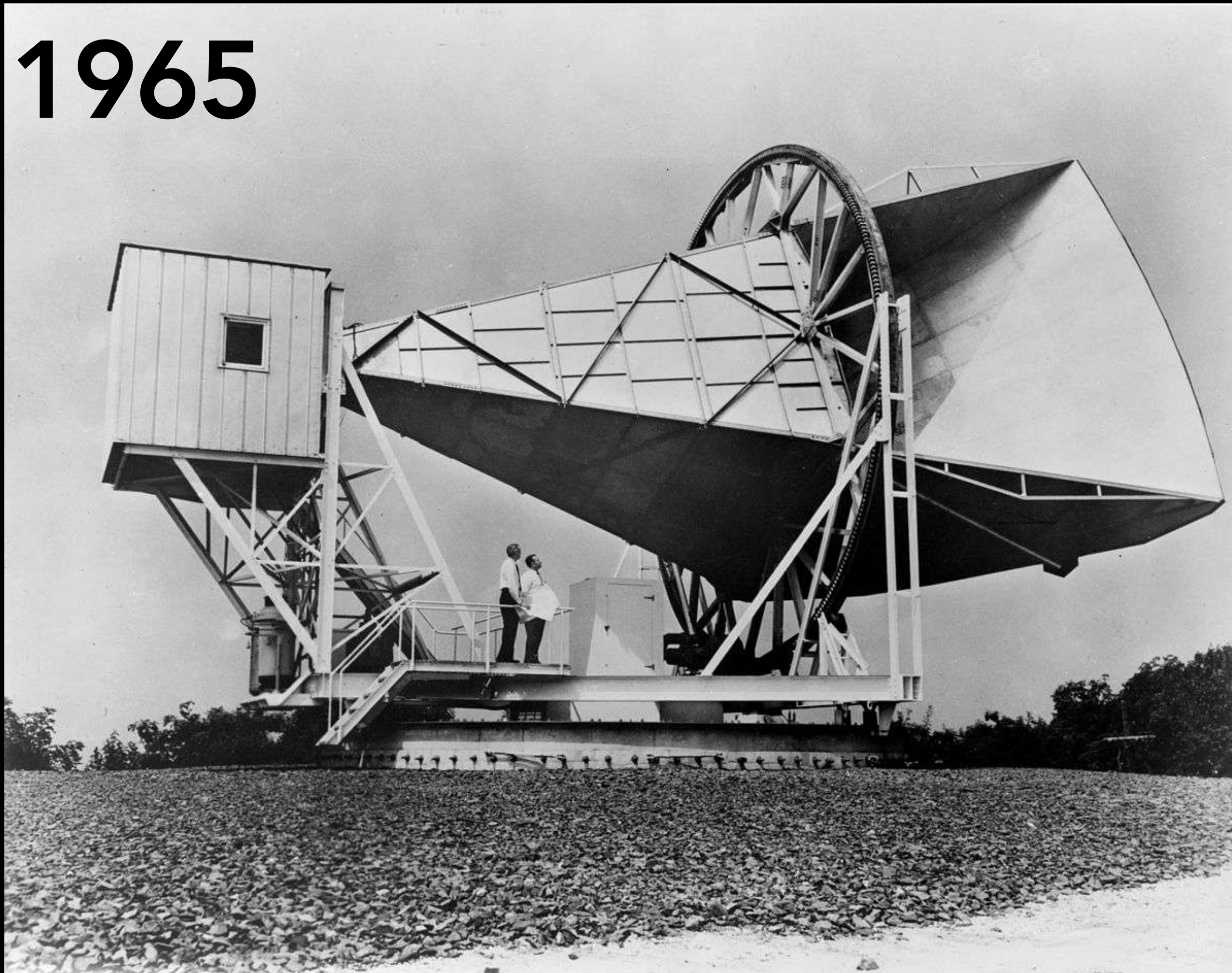




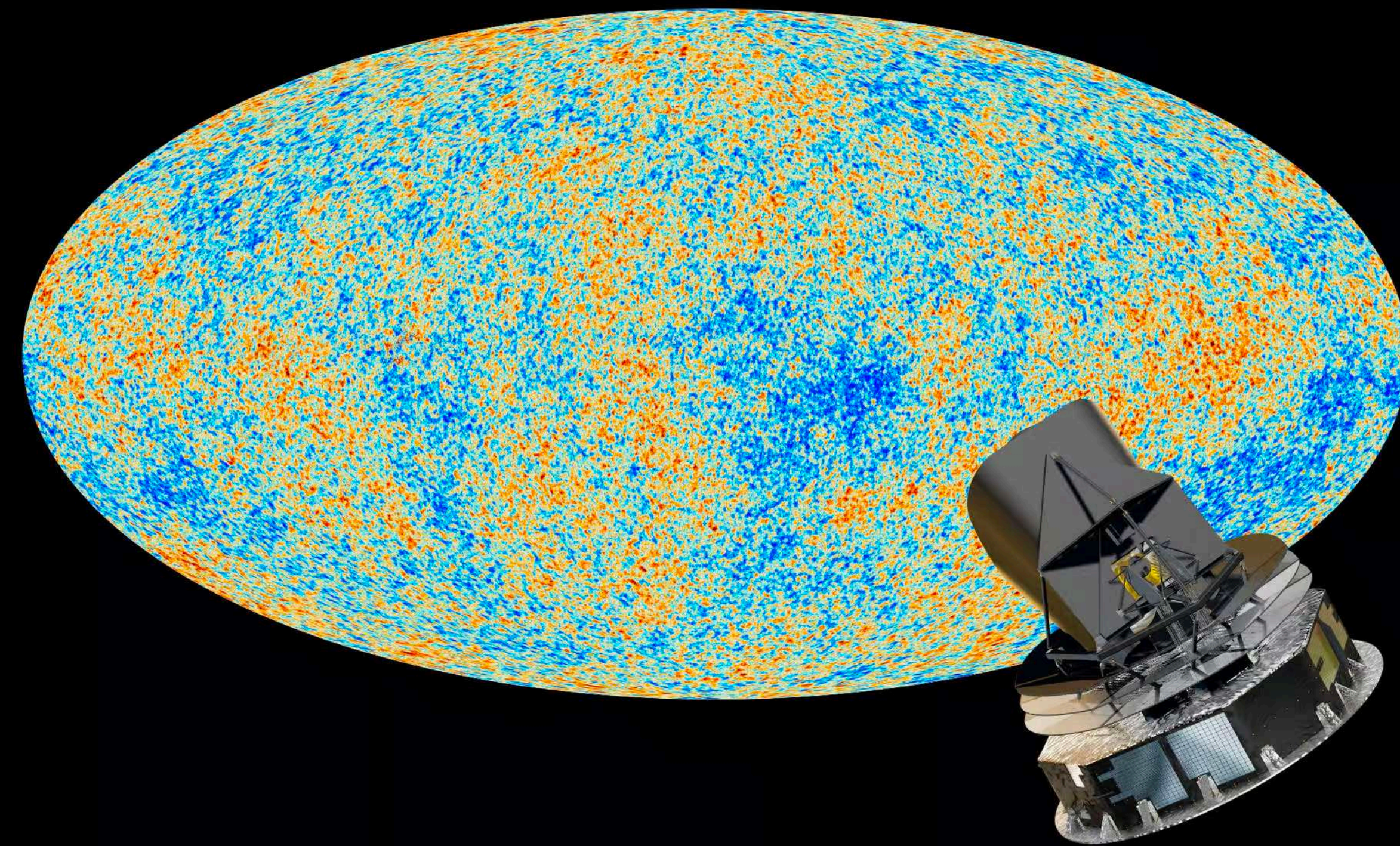
# Et pour le Big Bang ?

Observations  $\longrightarrow$  Théorie  $\xrightarrow{\text{Test}}$  Observations

1965



2018



Fond diffus cosmologique  
par le satellite Planck



# Les mystères de l'Univers

Quelle est la nature de la Matière Noire?



# Les mystères de l'Univers

Quelle est la nature de la Matière Noire?

Qu'est l'énergie Noire?



# Les mystères de l'Univers

Quelle est la nature de la Matière Noire?

Qu'est l'énergie Noire?

Et les trous noirs dans tout ça?



# La matière noire



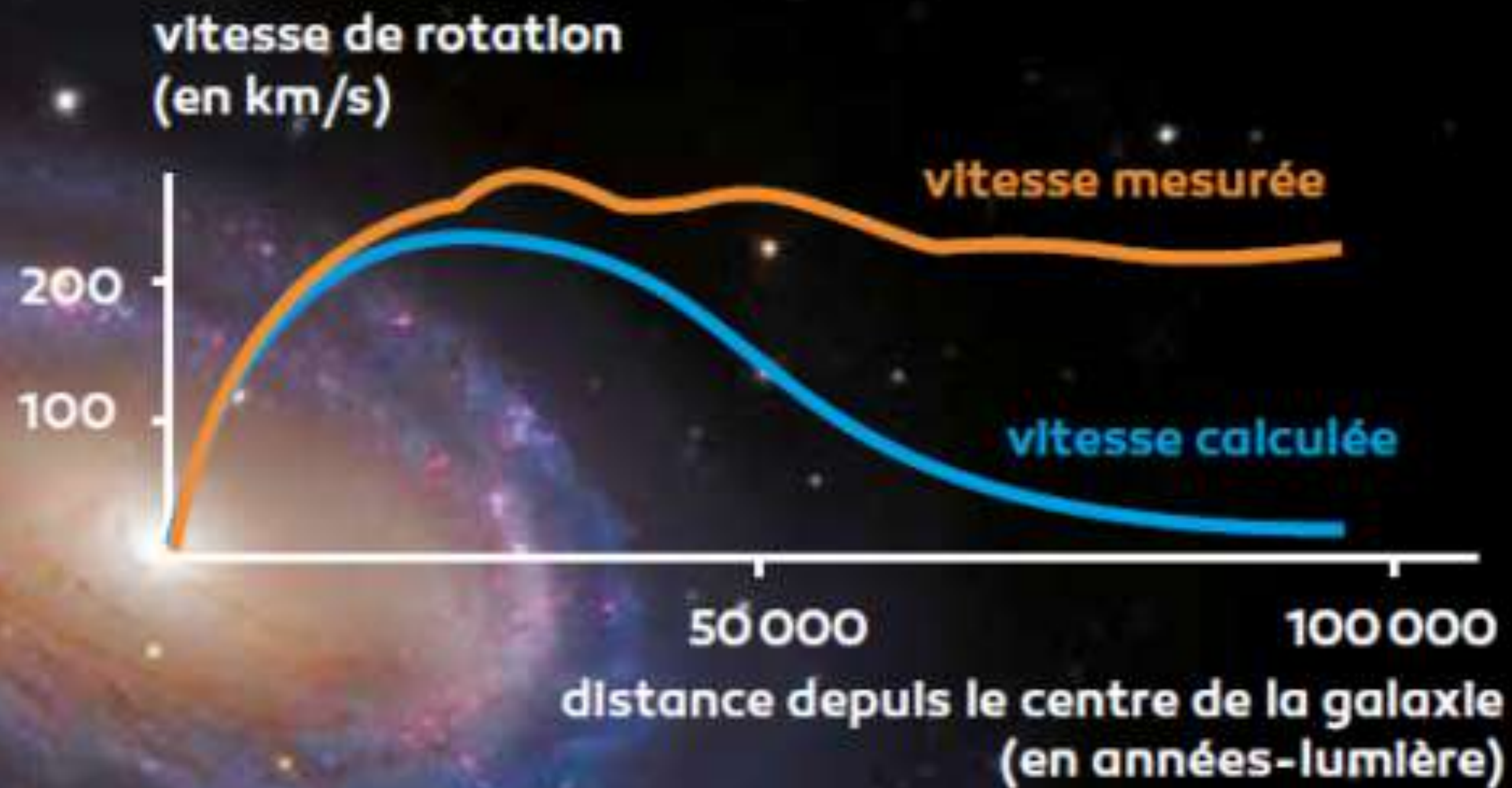
Fritz Zwicky @frizou · Jun 1, 1933

Ces galaxies sont bien trop lourdes!!!



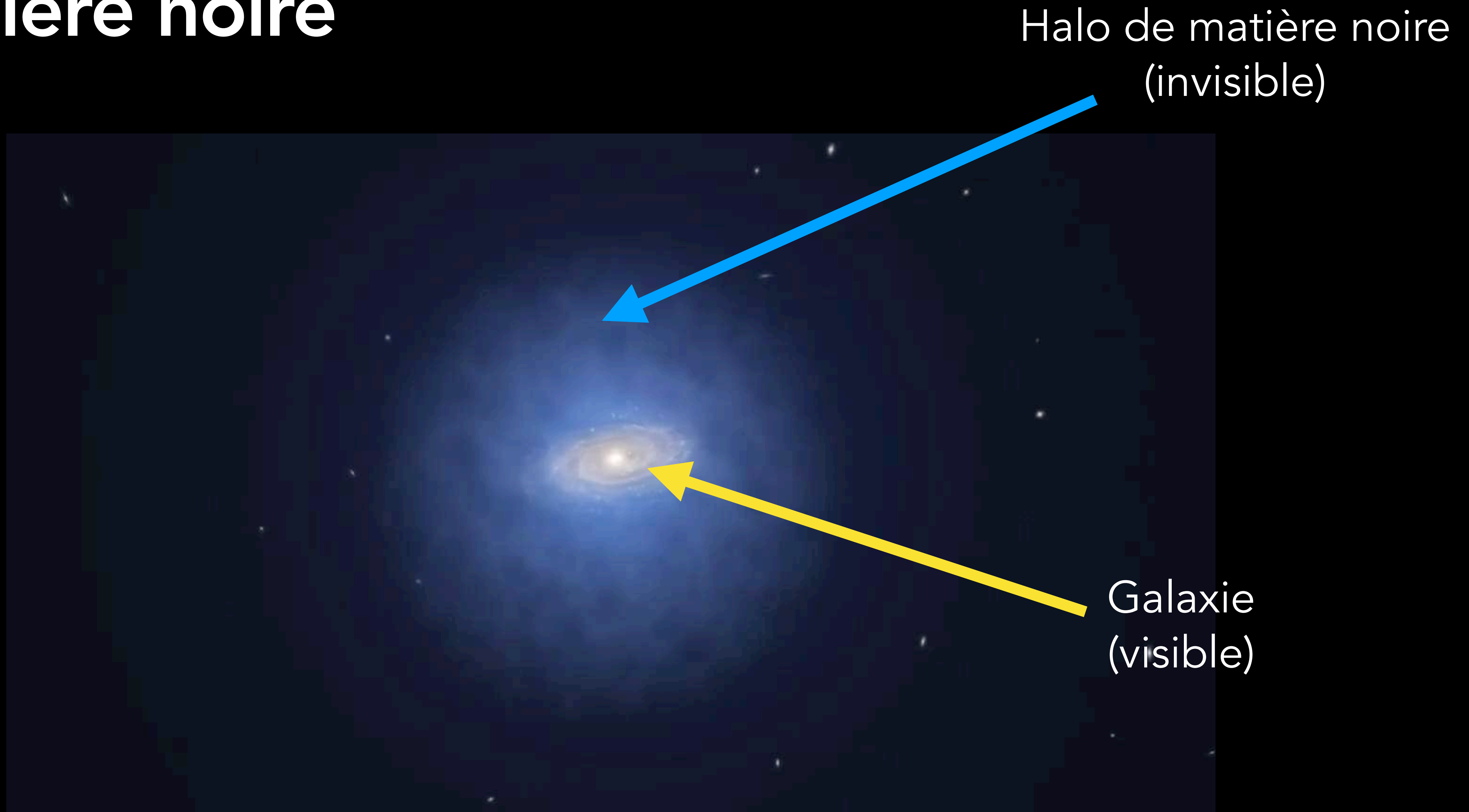
Vera Rubin @VR · Jun 1, 1970

t'es encore là? à moi aussi il me manque de la masse!



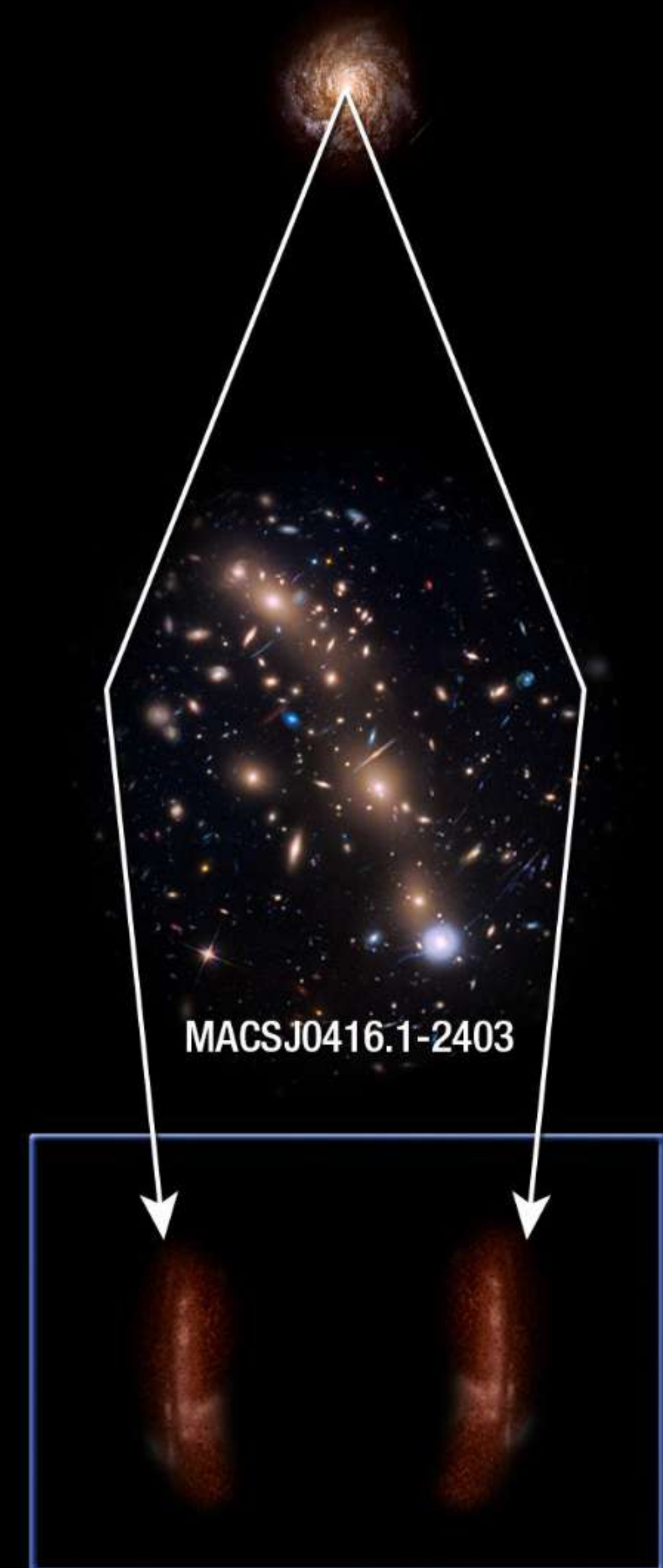
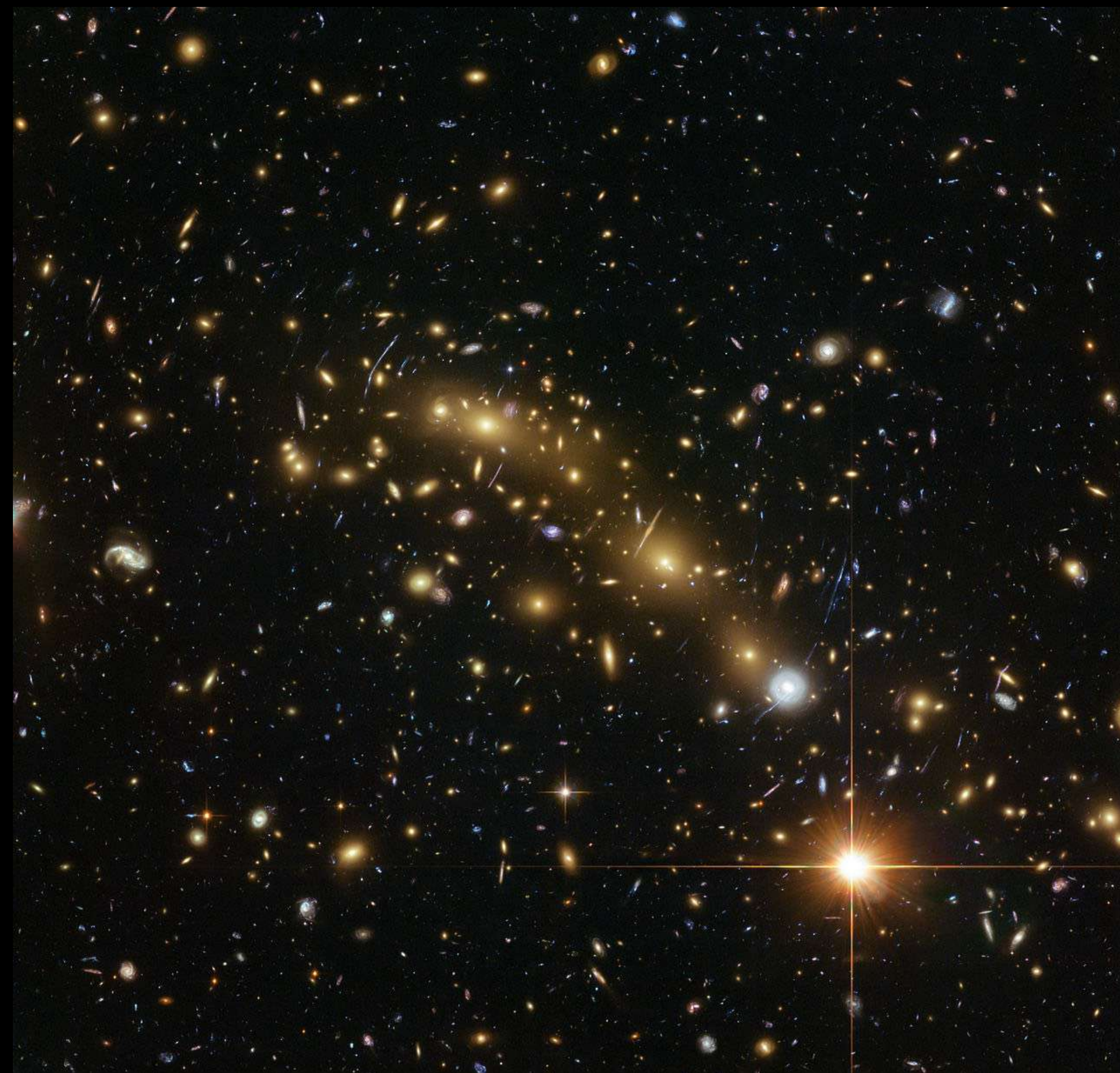


# La matière noire



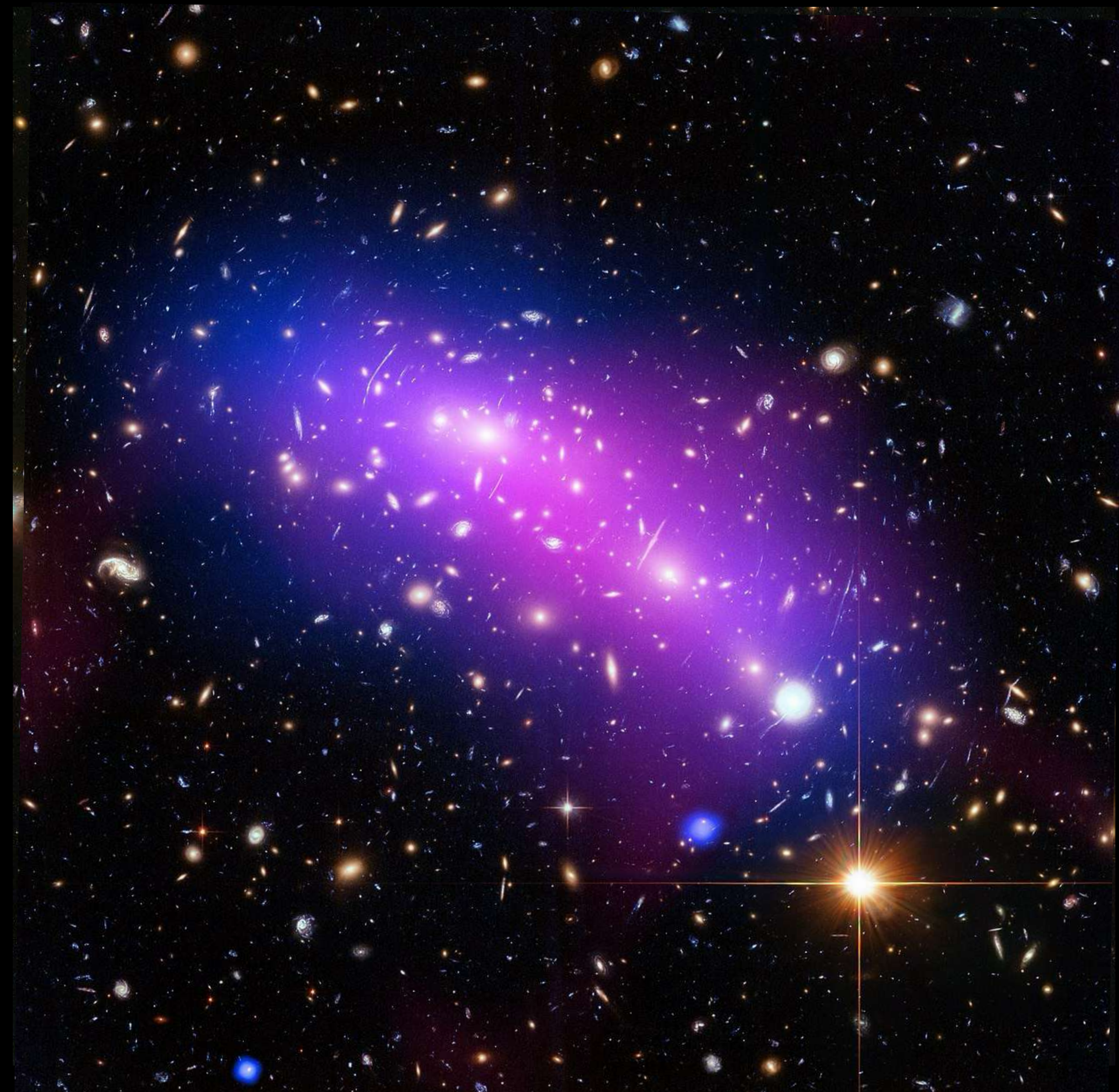


# La matière noire





# La matière noire





# Les mystères de l'Univers

Quelle est la nature de la Matière Noire?

Qu'est l'énergie Noire?

Et les trous noirs dans tout ça?

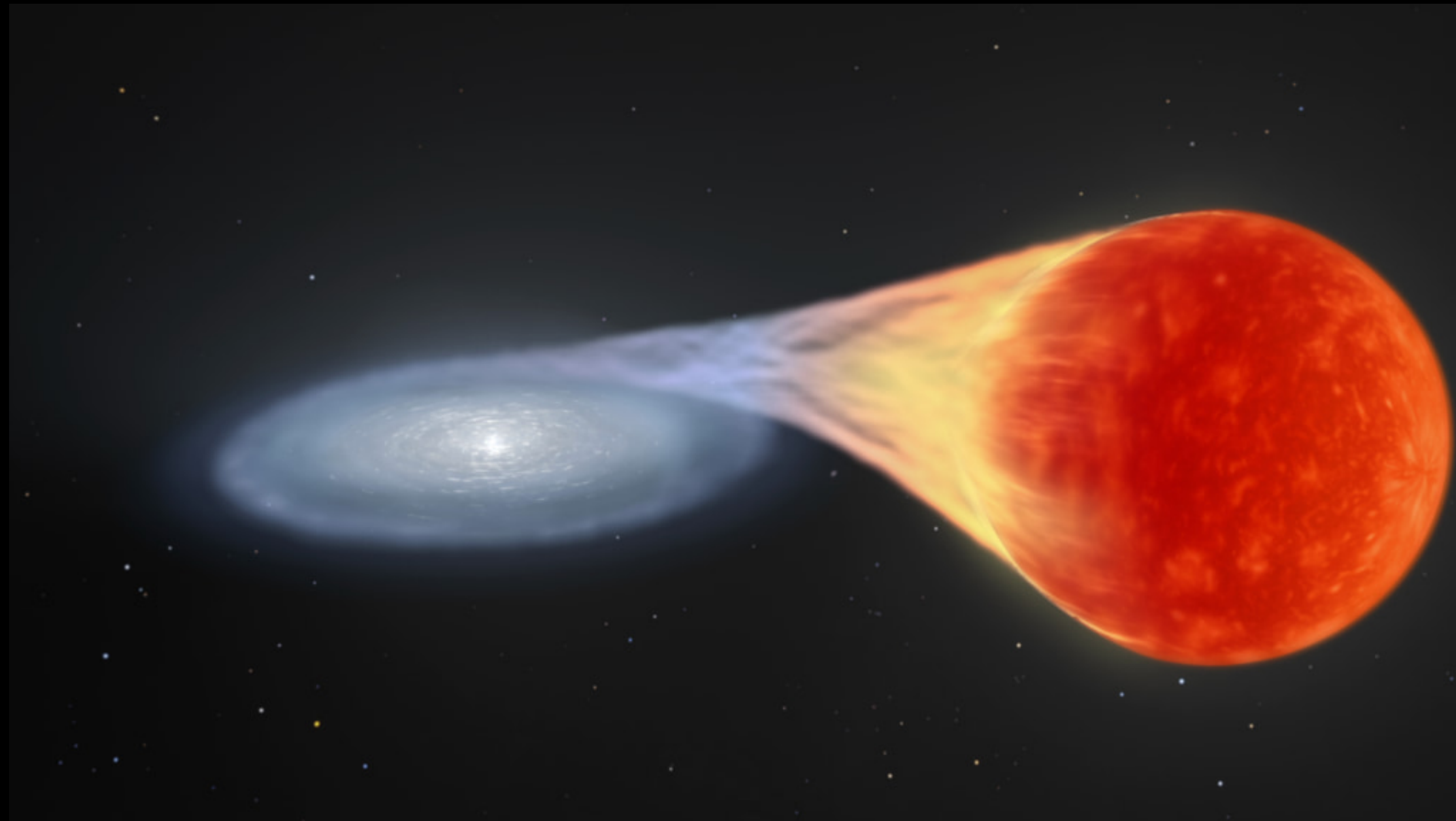


# La chandelle standard



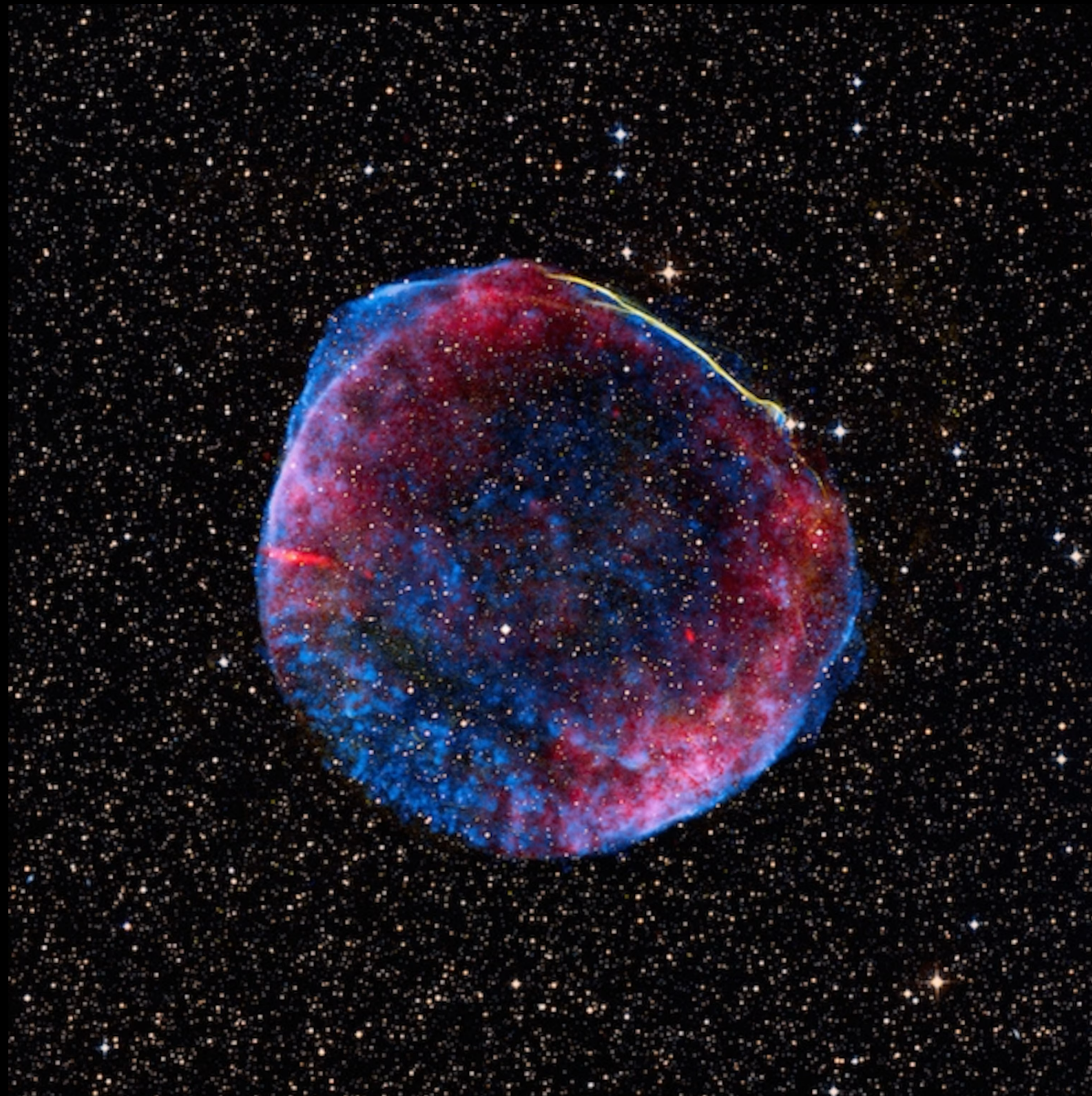


# Supernova





# Supernova





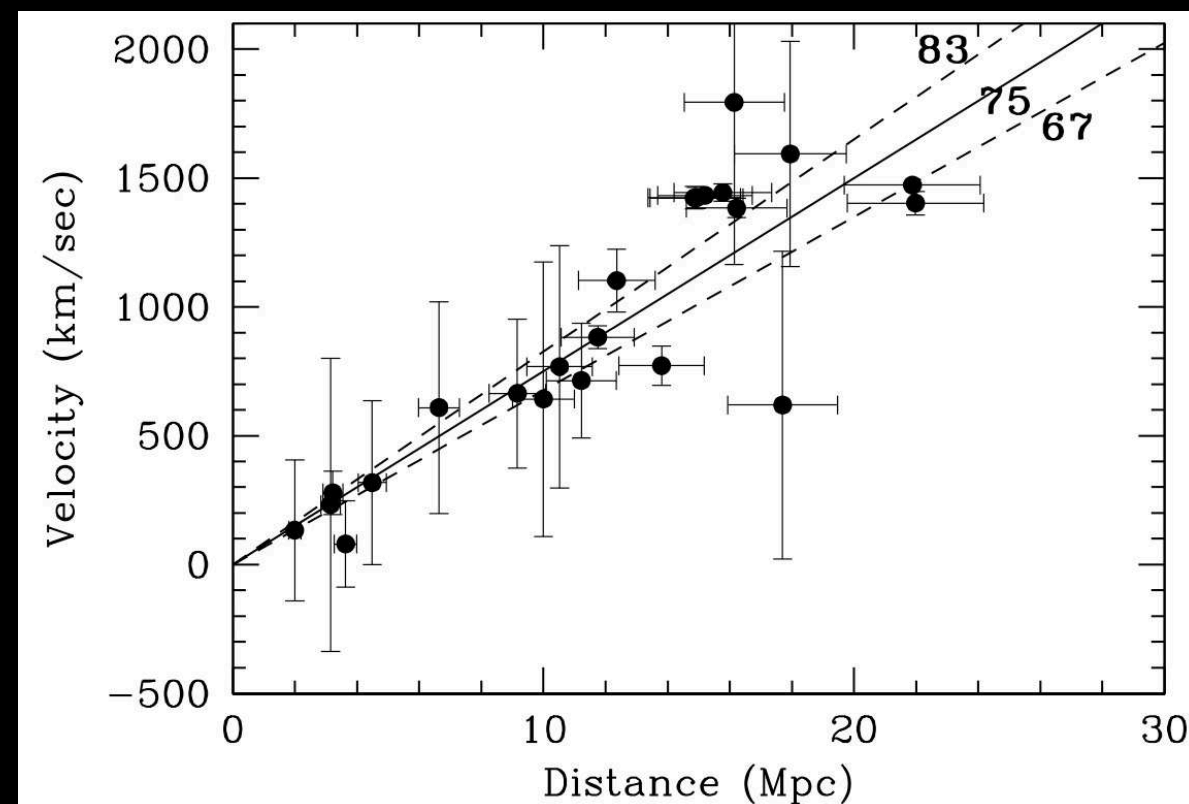
# La chandelle standard





# L'expansion accélérée de l'Univers

1929



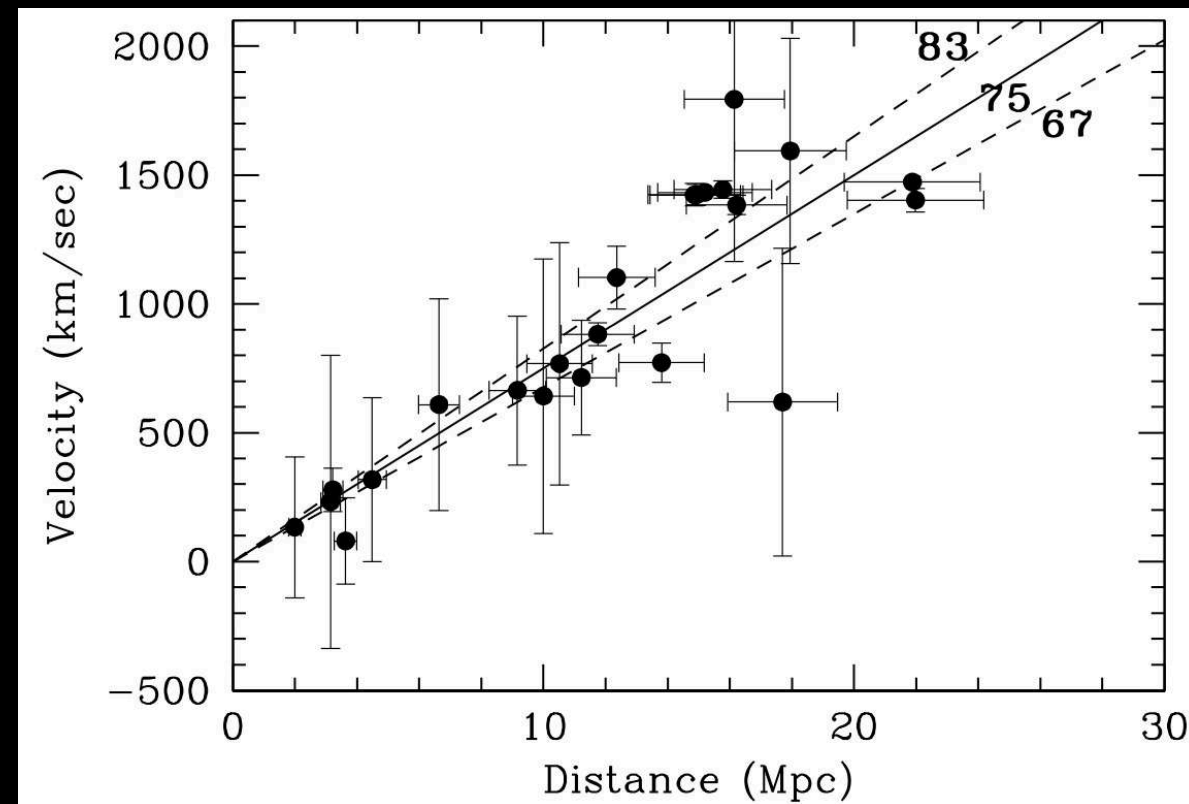
Distance (Mpc)

Vitesse

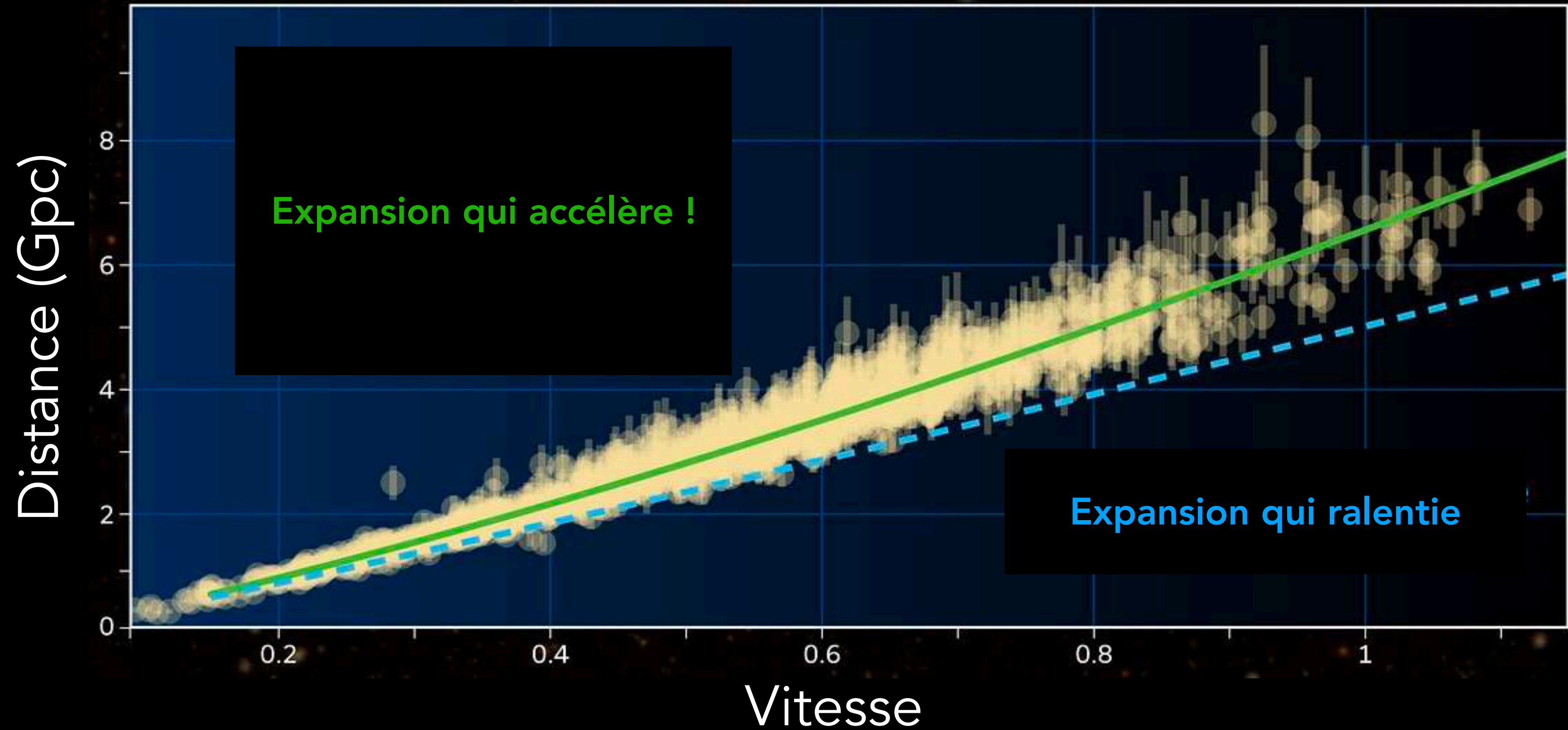


# L'expansion accélérée de l'Univers

1929



2023





# Qu'est-ce l'énergie noire ?



# Qu'est-ce l'énergie noire ?

Constante cosmologique ?

$\Lambda$



**Albert Einstein** @albertito · Jun 1, 1997

Alors, c'est qui qui avait raison?



**Bernard Pivote** @Username · Jun 1, 1997

On dit 'Qui est-ce qui'





# Qu'est-ce l'énergie noire ?

Energie du vide ? Non...

Constante cosmologique ?

$\Lambda$



**Albert Einstein** @albertito · Jun 1, 1997

Alors, c'est qui qui avait raison?



**Bernard Pivote** @Username · Jun 1, 1997

On dit 'Qui est-ce qui'





# Qu'est-ce l'énergie noire ?

Energie du vide ? Non...

Constante cosmologique ?

$\Lambda$

Meilleure théorie de la gravité ?



**Albert Einstein** @albertito · Jun 1, 1997

Alors, c'est qui qui avait raison?



**Bernard Pivote** @Username · Jun 1, 1997

On dit 'Qui est-ce qui'





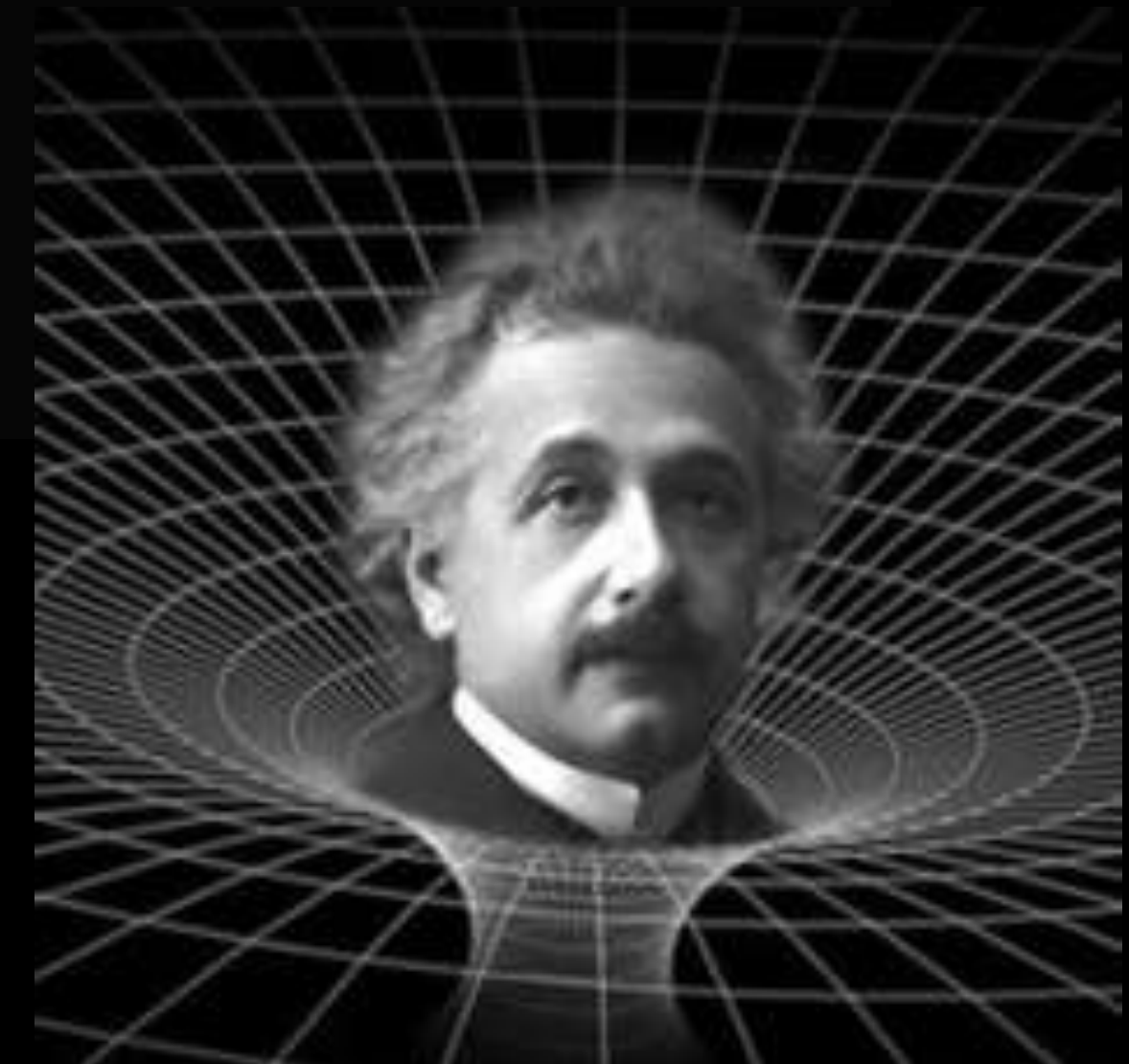
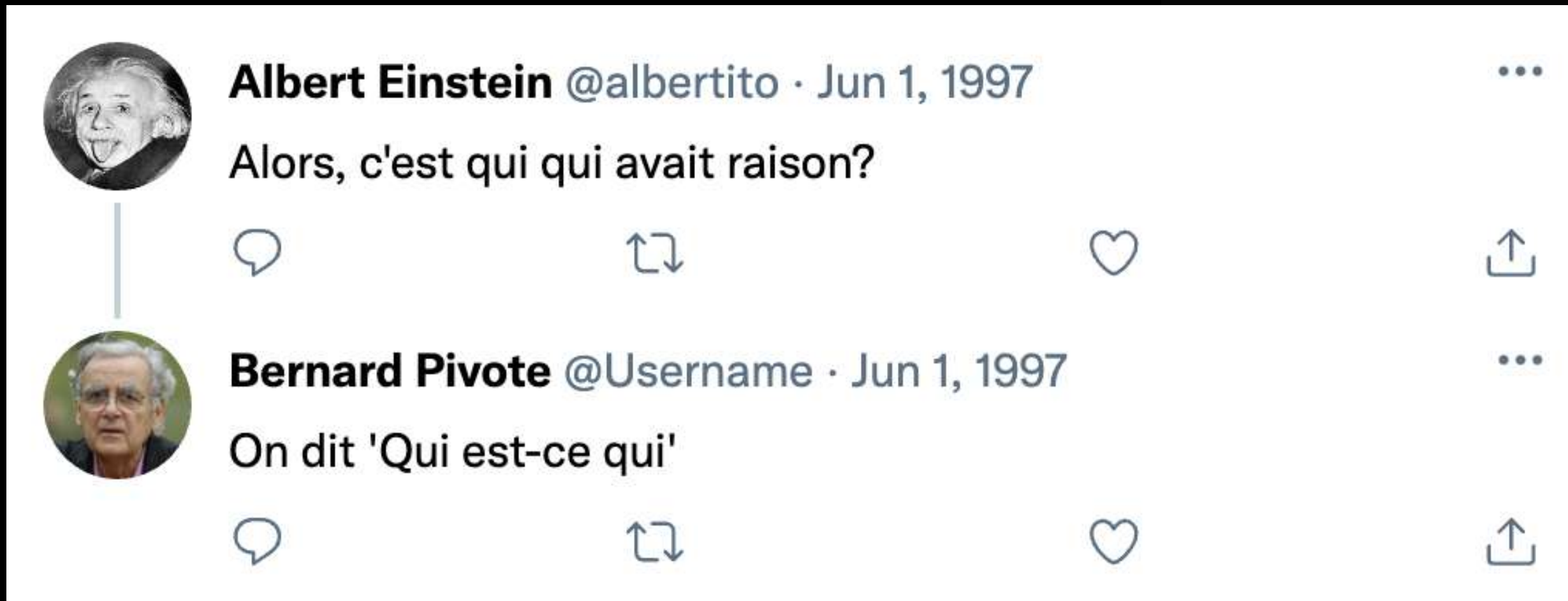
# Qu'est-ce l'énergie noire ?

Energie du vide ? Non...

Constante cosmologique ?

$\Lambda$

Meilleure théorie de la gravité ?



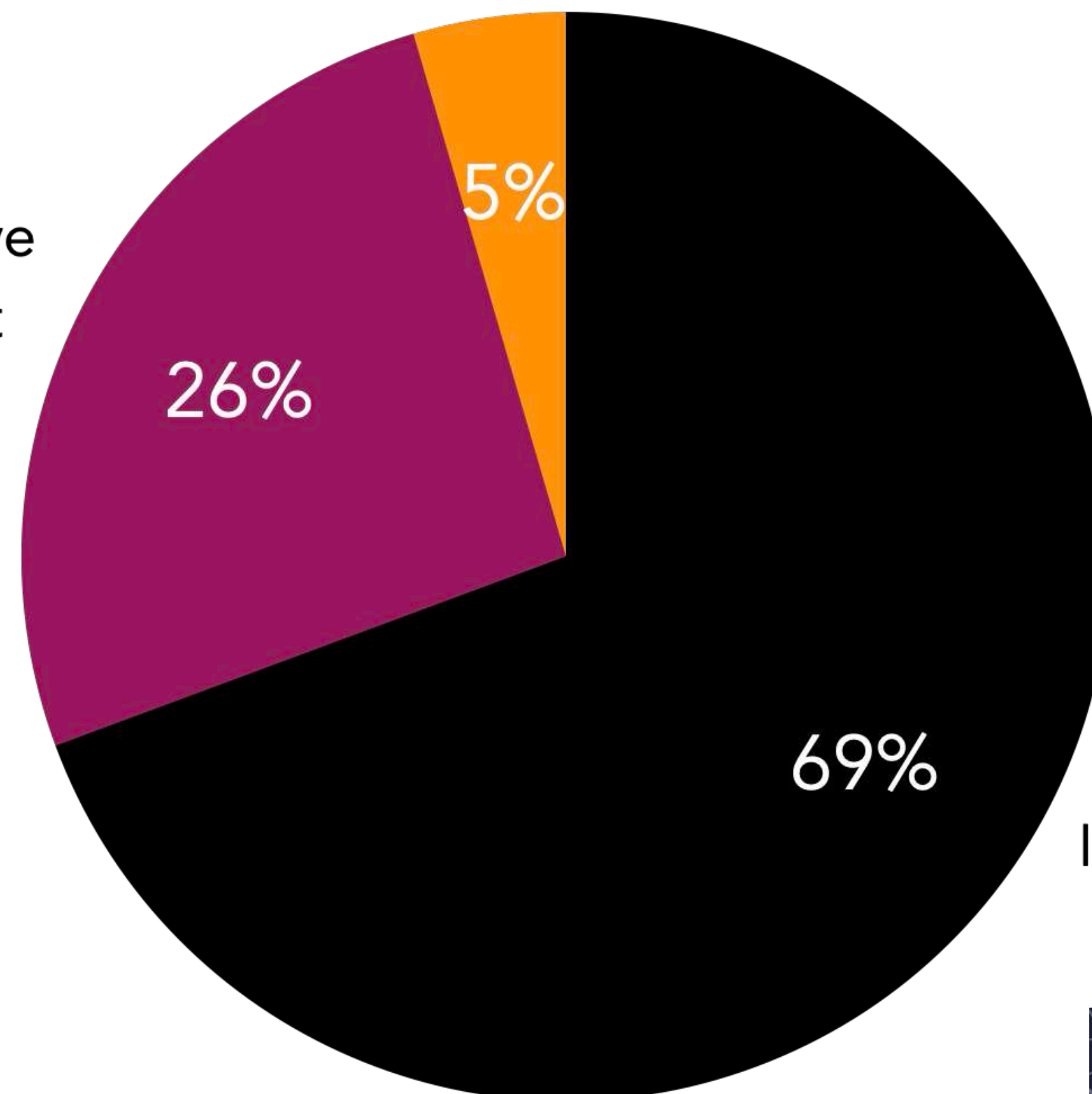
Nous n'avons pas encore de réponse !



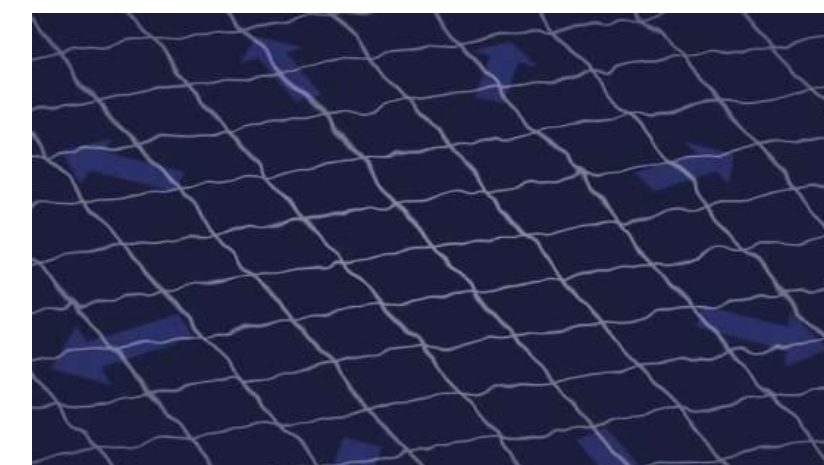
# Le côté obscur de l'Univers

**Matière "normale" ou visible**  
Nous, les planètes, les étoiles, les galaxies

**Matière noire**  
Invisible mais attractive  
gravitationnellement



**Énergie noire**  
Invisible et repulsive !  
Anti-gravité ?!





# Les grands télescopes



# **Les grands télescopes**

**Spatial**



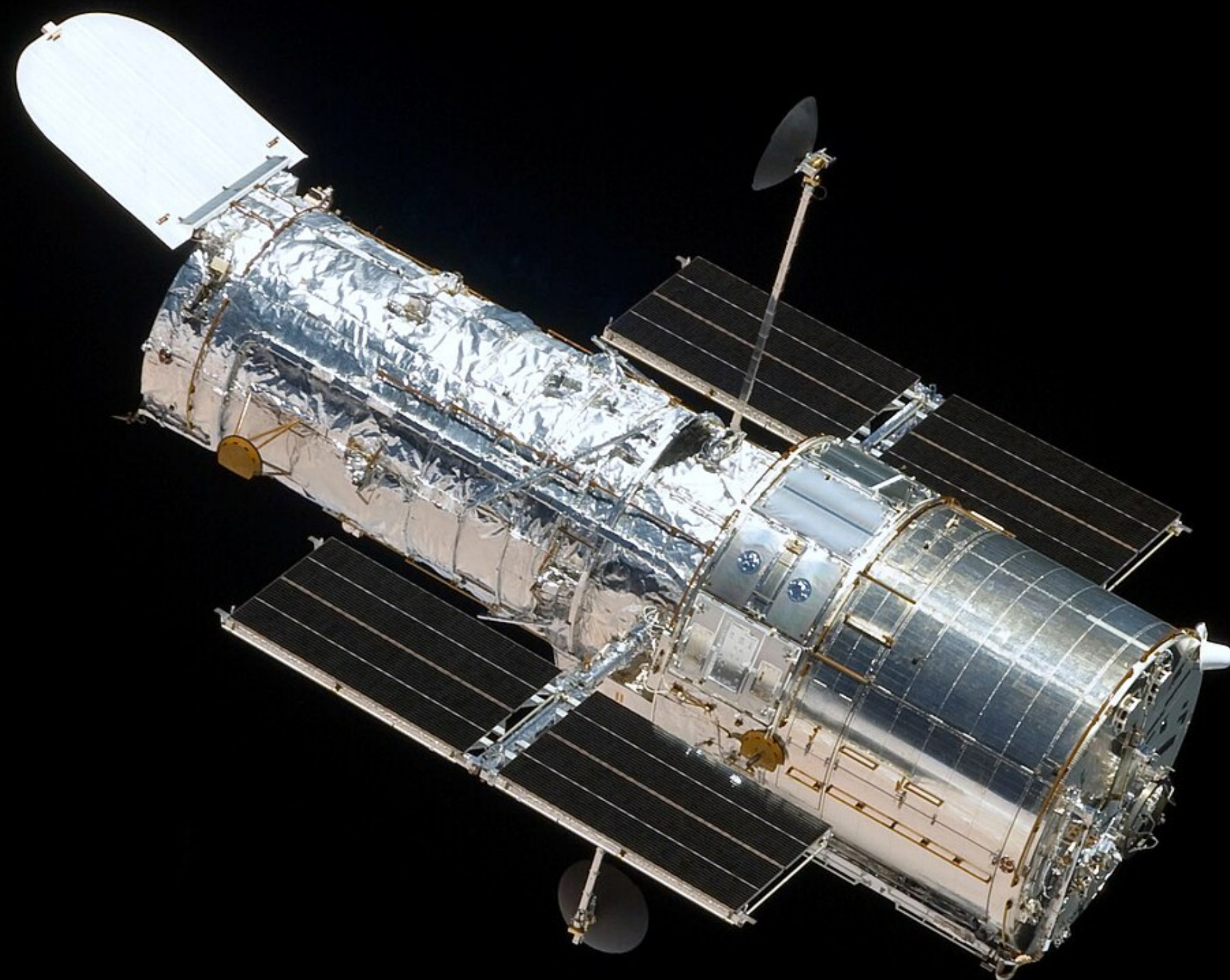
# **Les grands télescopes**

**Spatial**

**Terrestre**

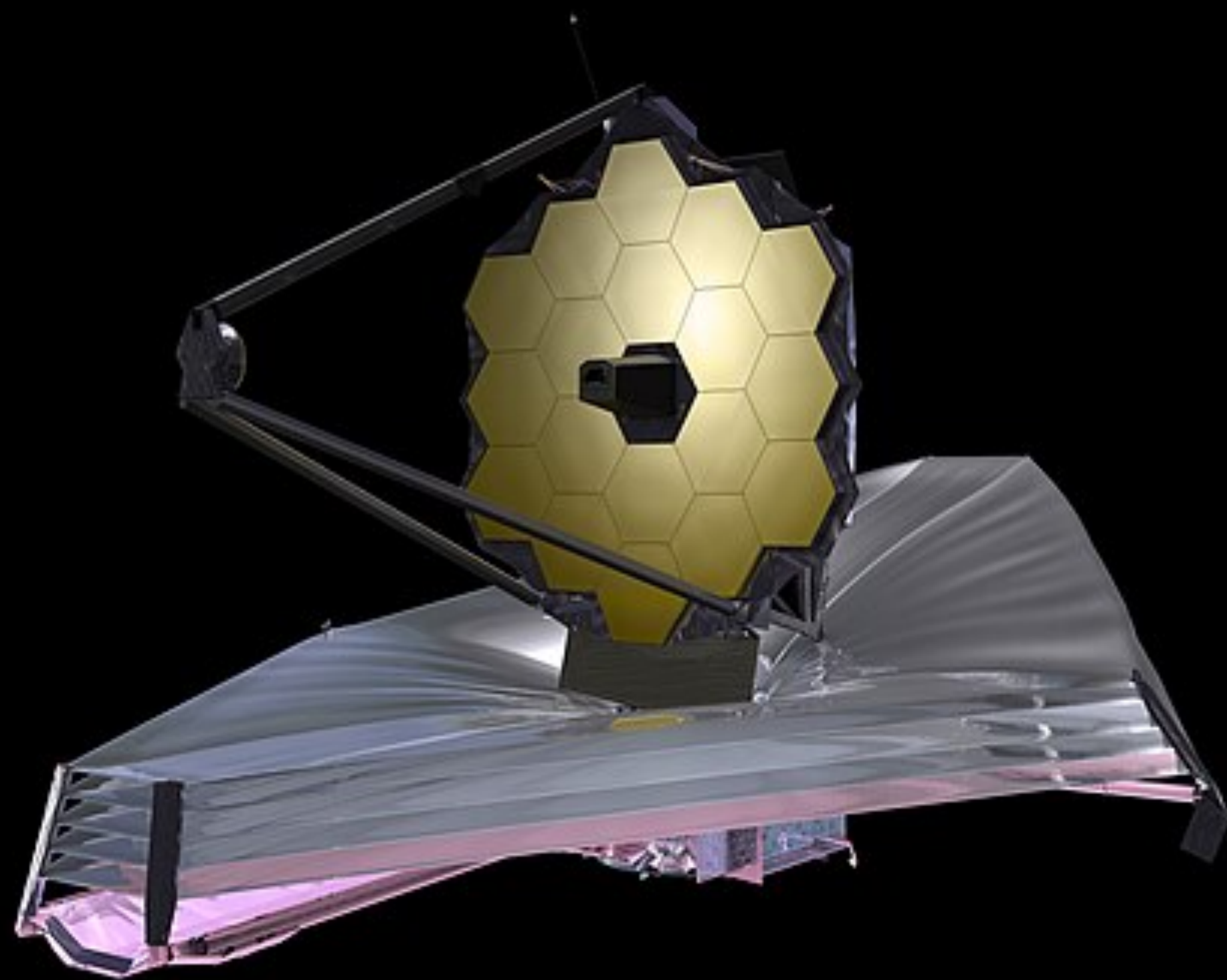


# Hubble



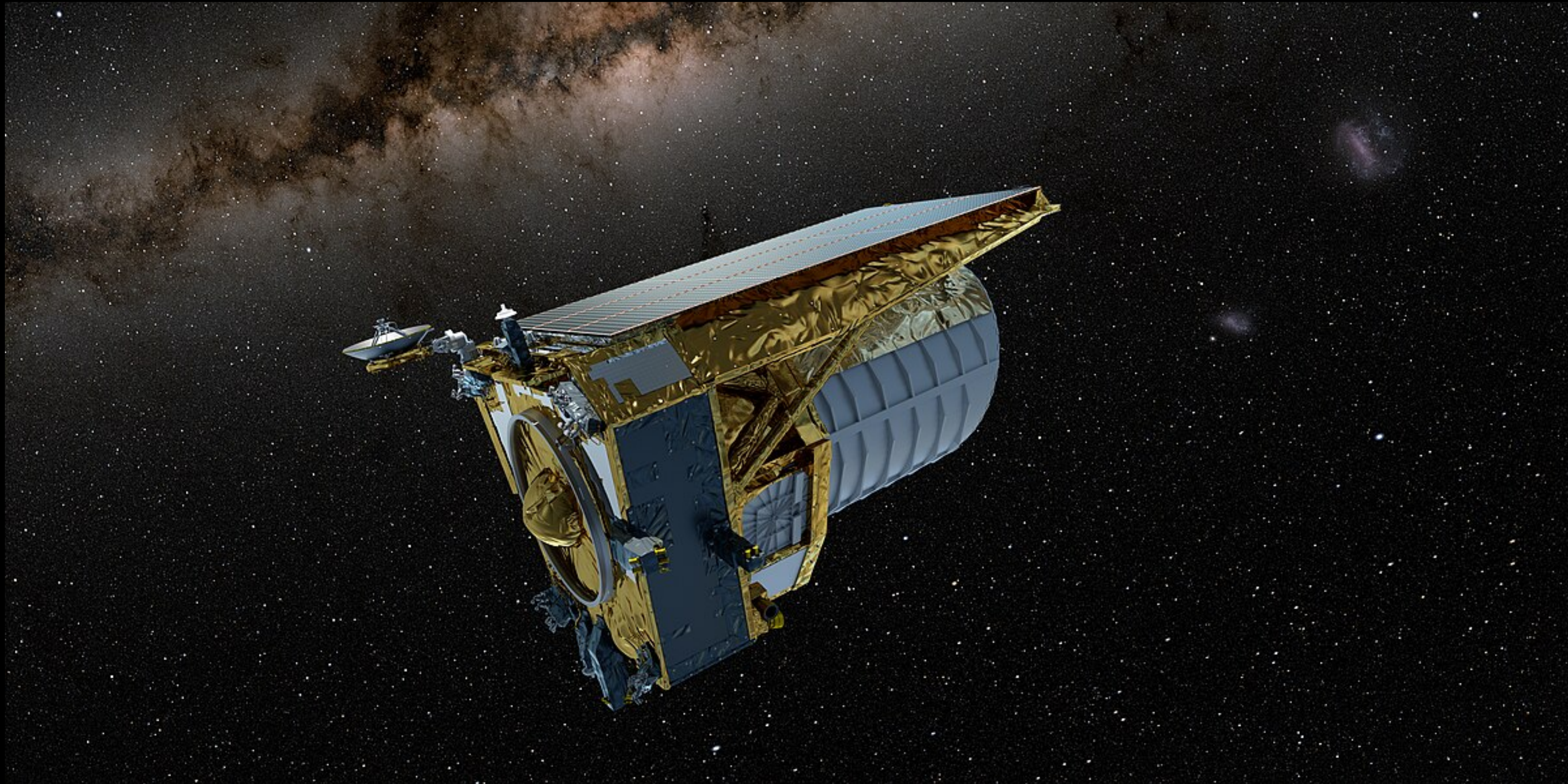


# James Webb





# Euclid





# DESI





# LSST



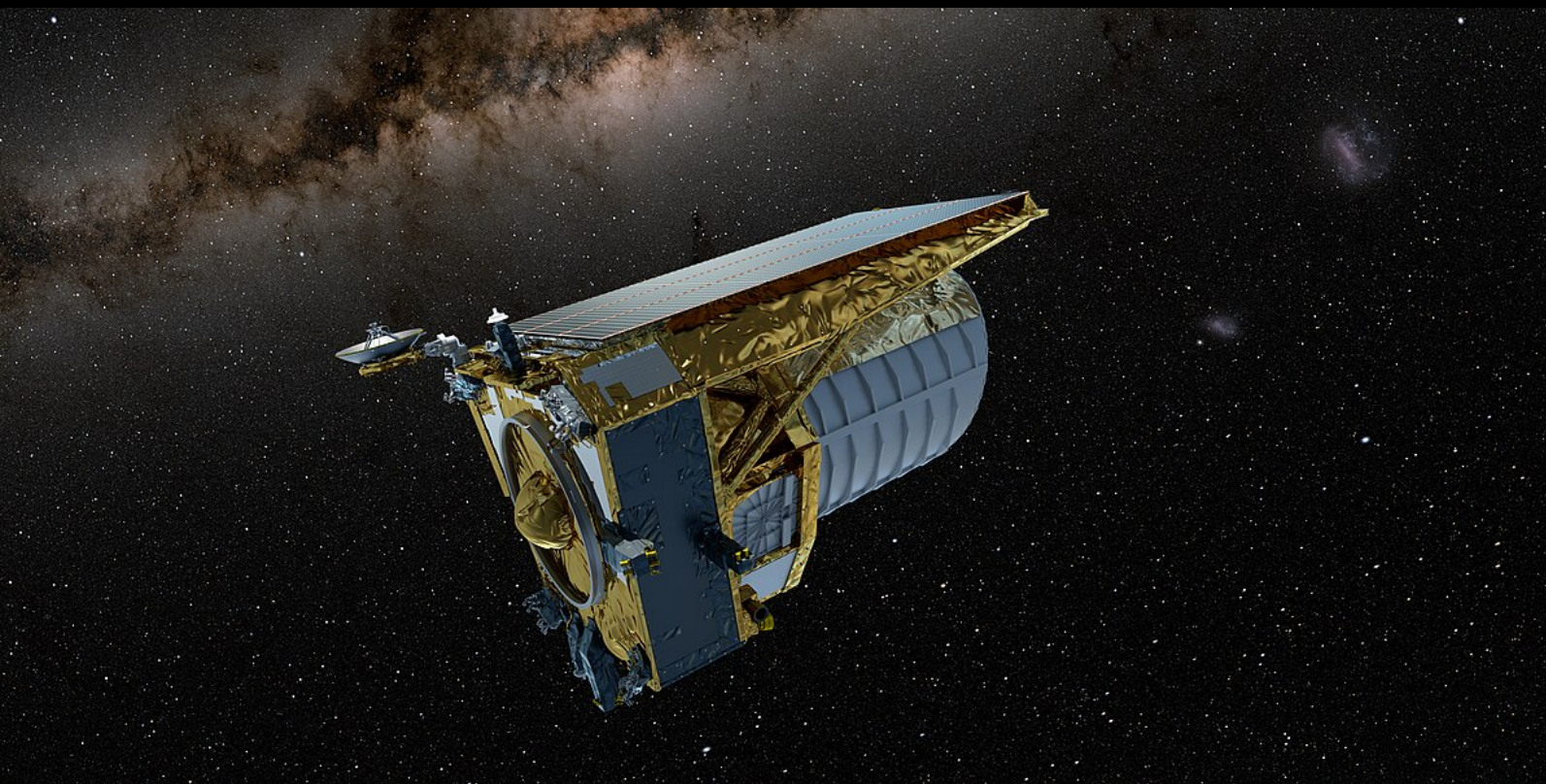


# La cosmologie au CPPM

## Euclid

## LSST

## DESI



30 million de galaxies



Plus grande caméra du monde  
20 milliards de galaxies  
300 000 supernovae



40 million de spectres

## Et d'autres télescopes...



# **La cosmologie au CPPM**

**Supernovas**

**Fond diffus**

**Vides cosmiques**



# La cosmologie au CPPM

**Supernovas**



**Fond diffus**

**Vides cosmiques**

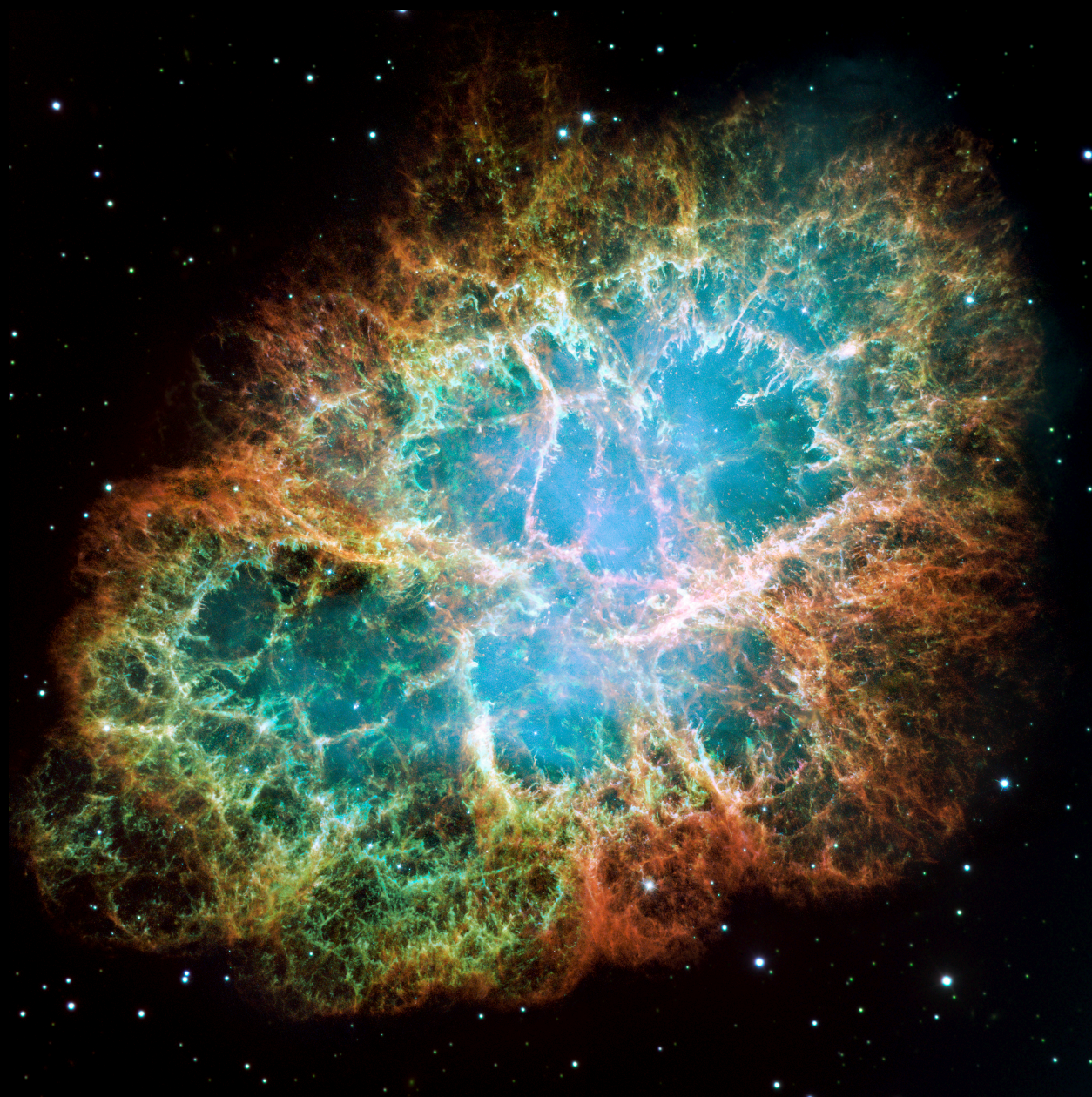


# La cosmologie au CPPM

**Supernovas**

**Fond diffus**

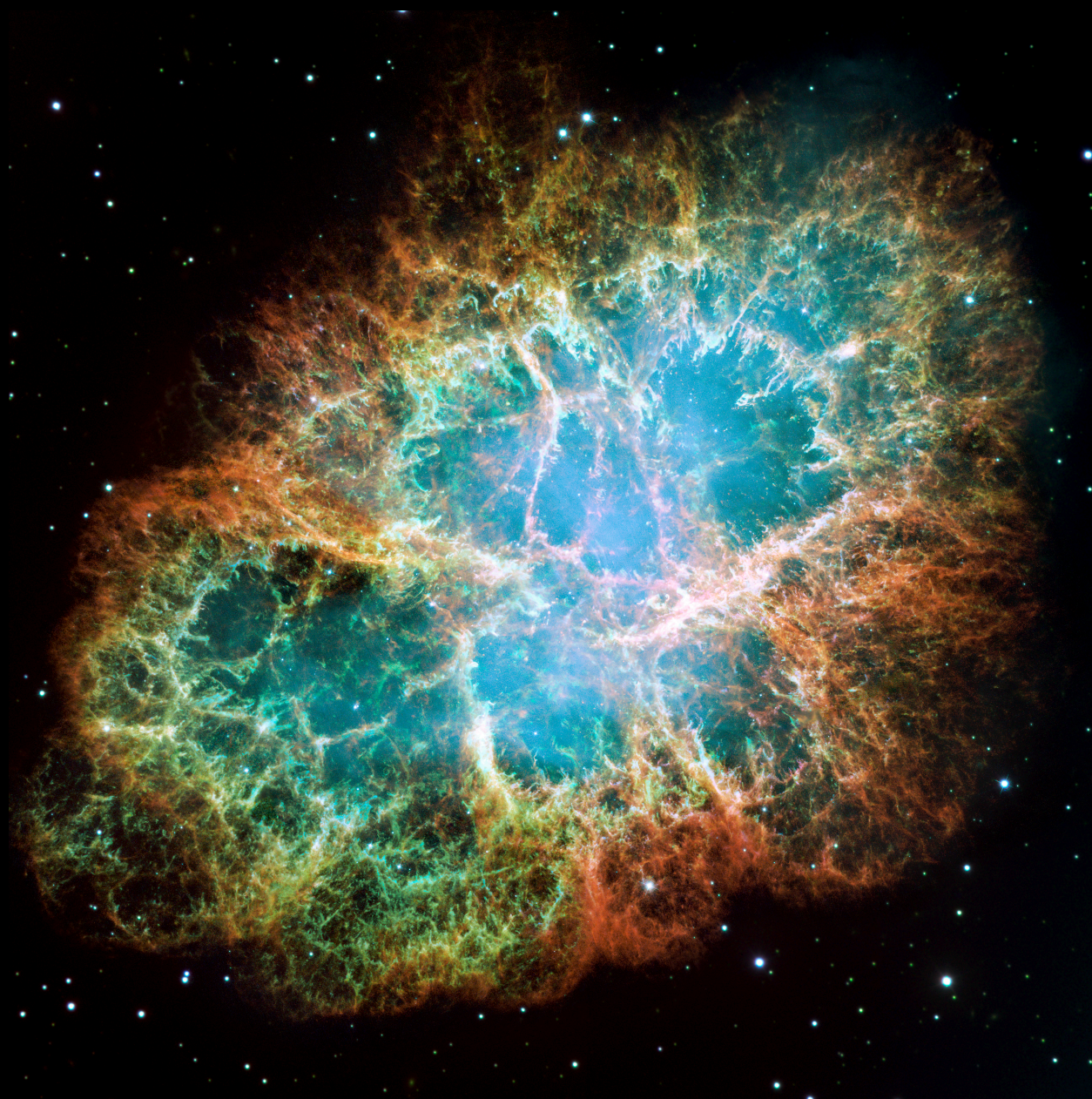
**Vides cosmiques**



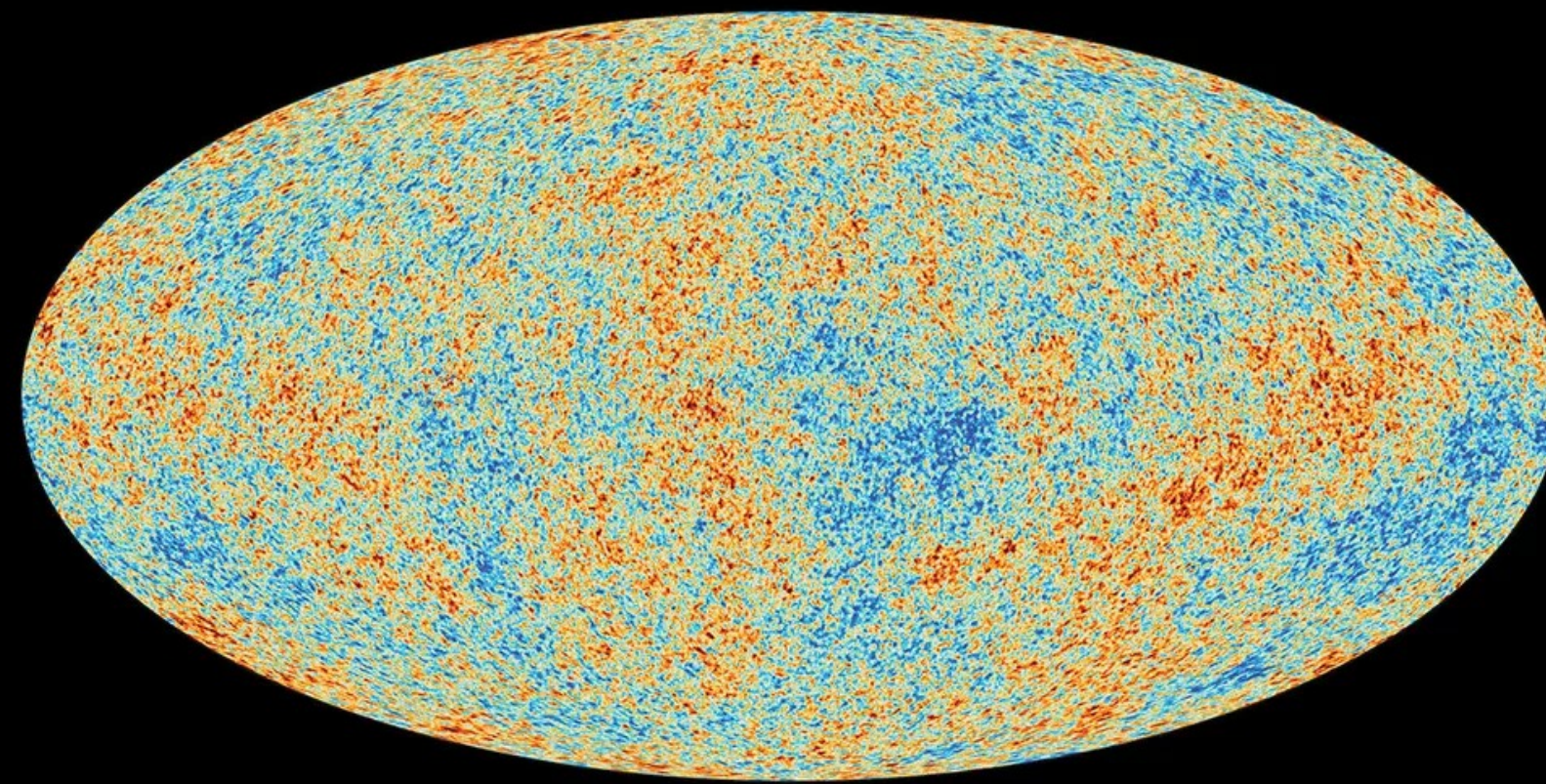


# La cosmologie au CPPM

**Supernovas**



**Fond diffus**

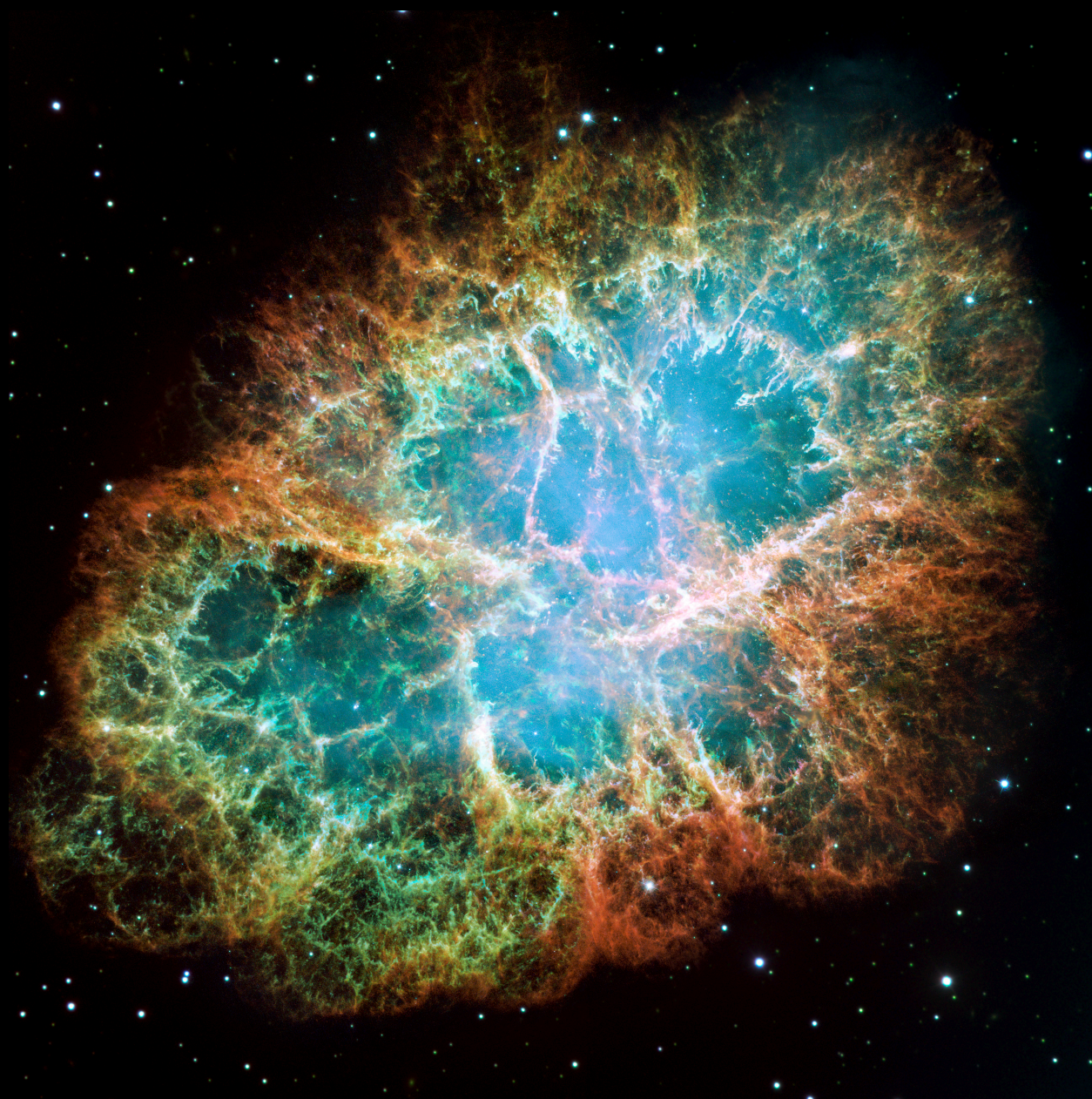


**Vides cosmiques**

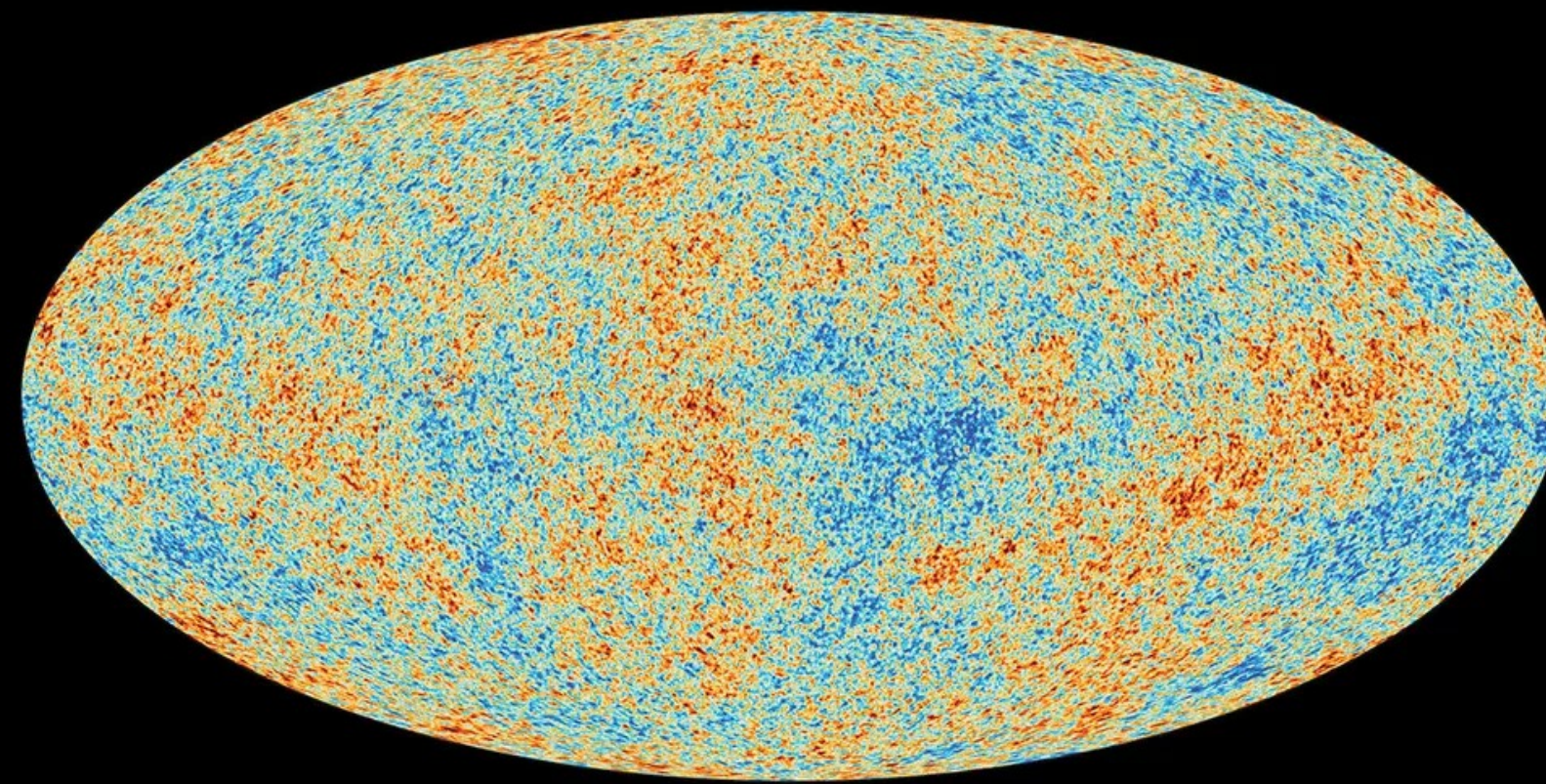


# La cosmologie au CPPM

**Supernovas**



**Fond diffus**

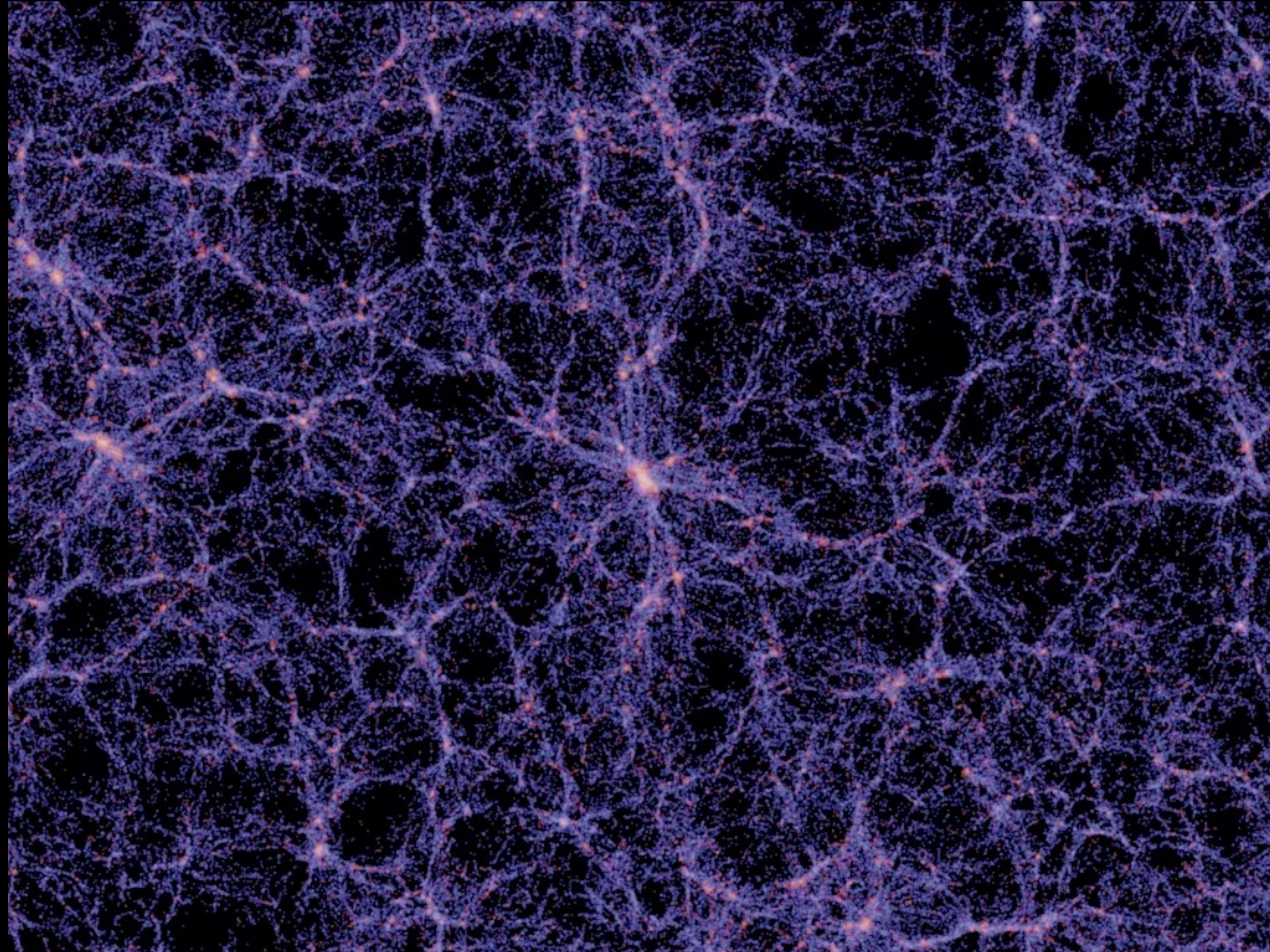


**Vides cosmiques**



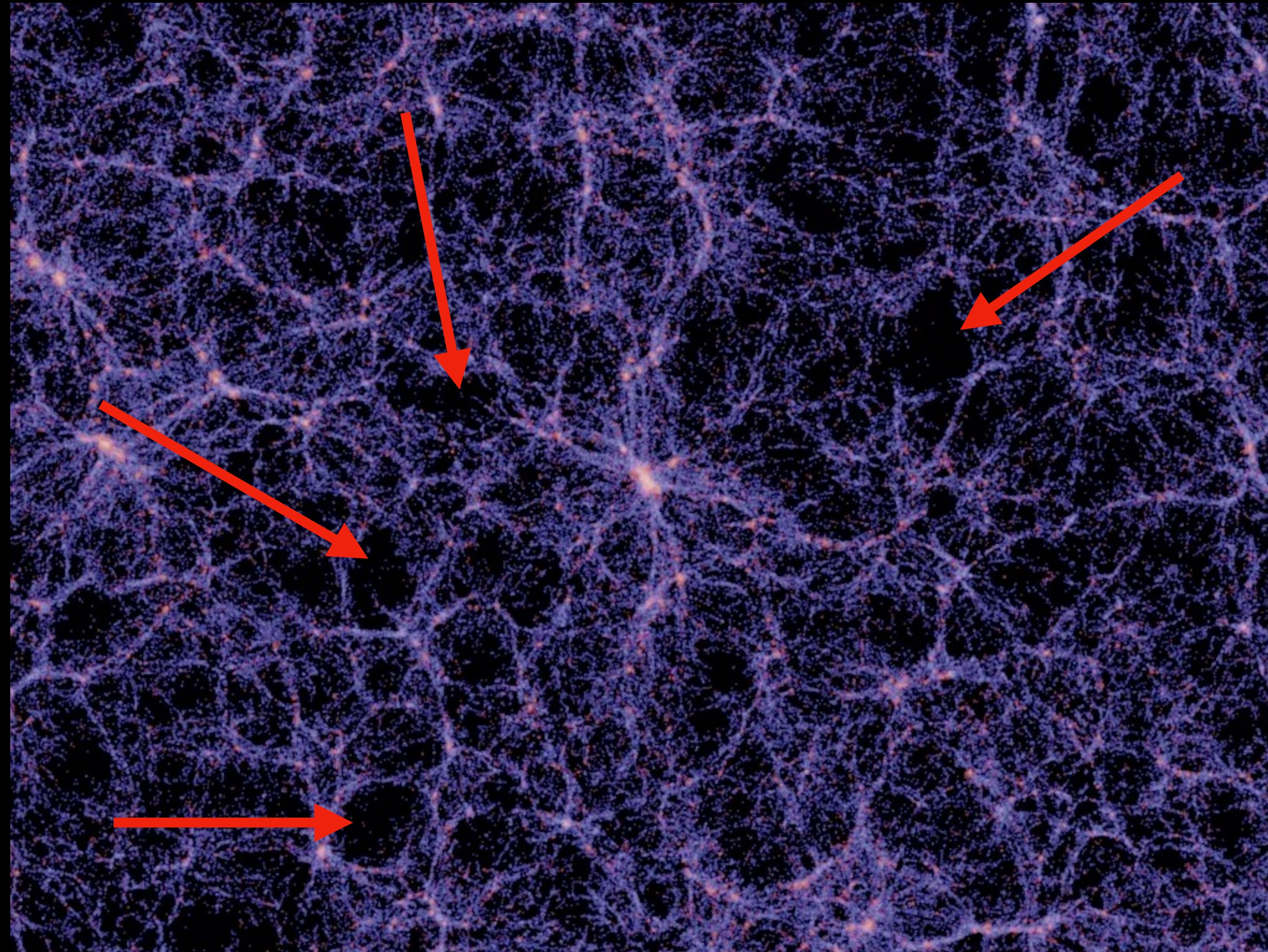


# Les vides cosmiques





# Les vides cosmiques





# Merci !





# Les mystères de l'Univers

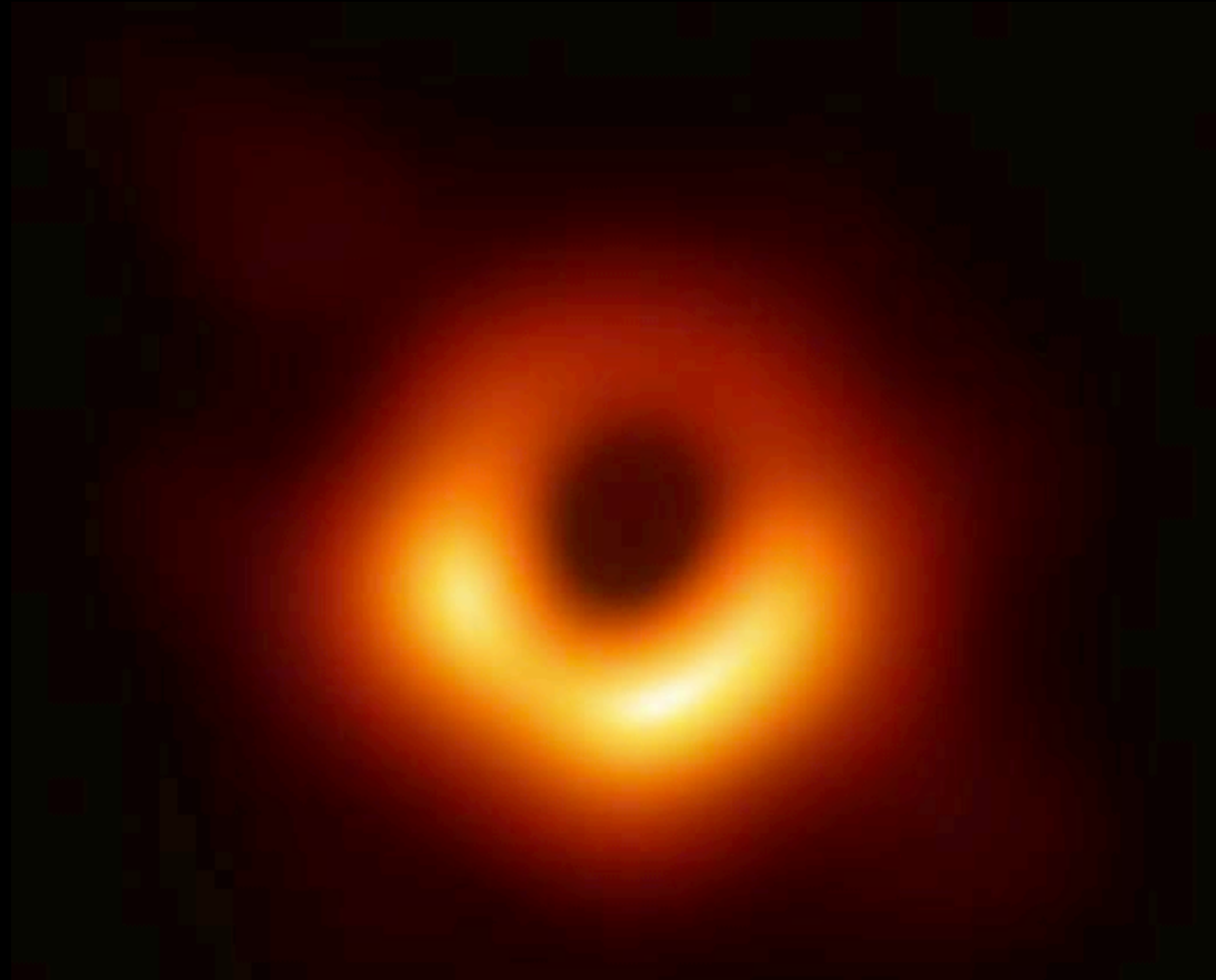
Quelle est la nature de la Matière Noire?

Qu'est-ce l'Énergie Noire?

Et les trous noirs dans tout ça?



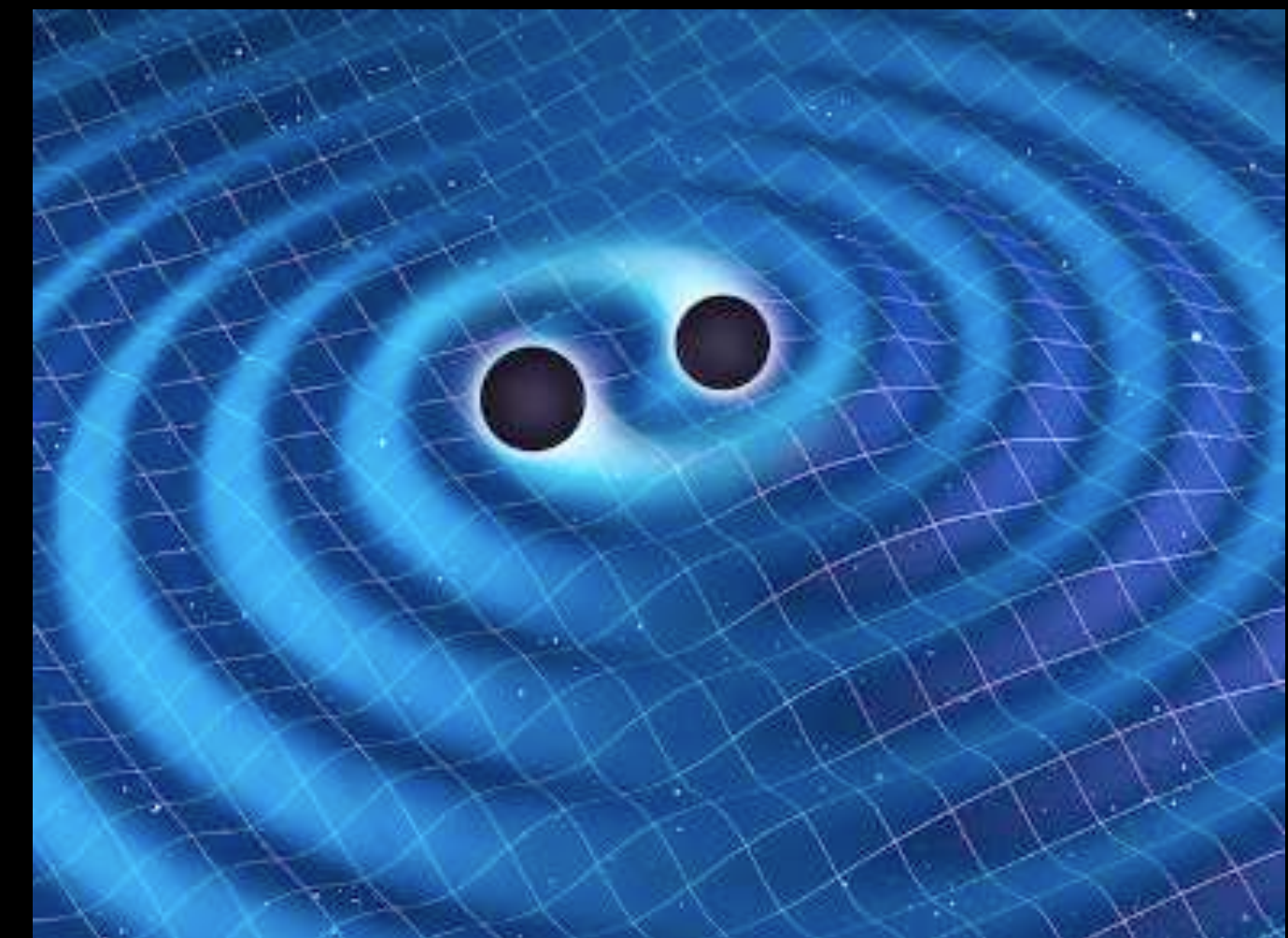
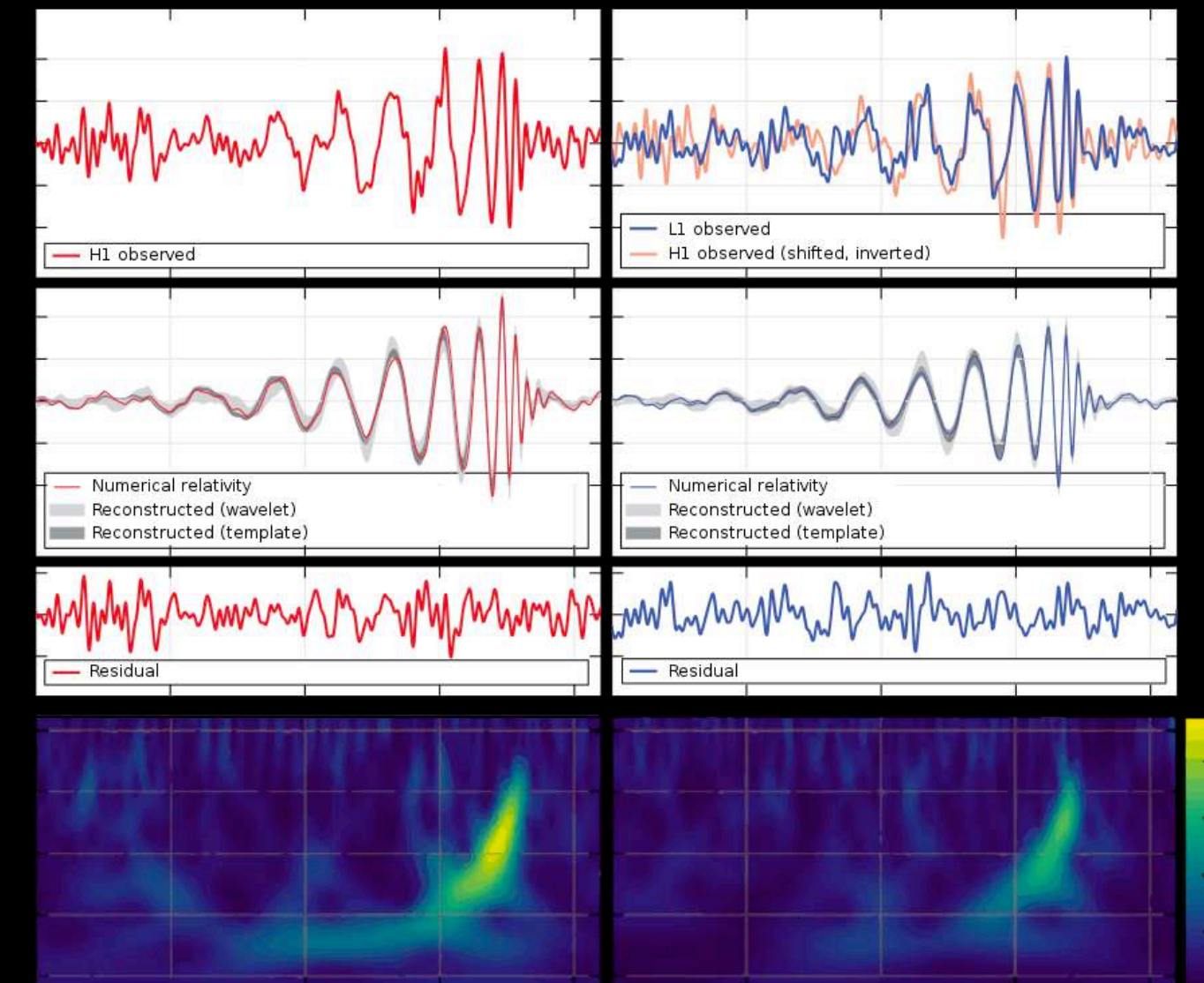
Observation



Théorie

Et les trous noirs dans tout ça?

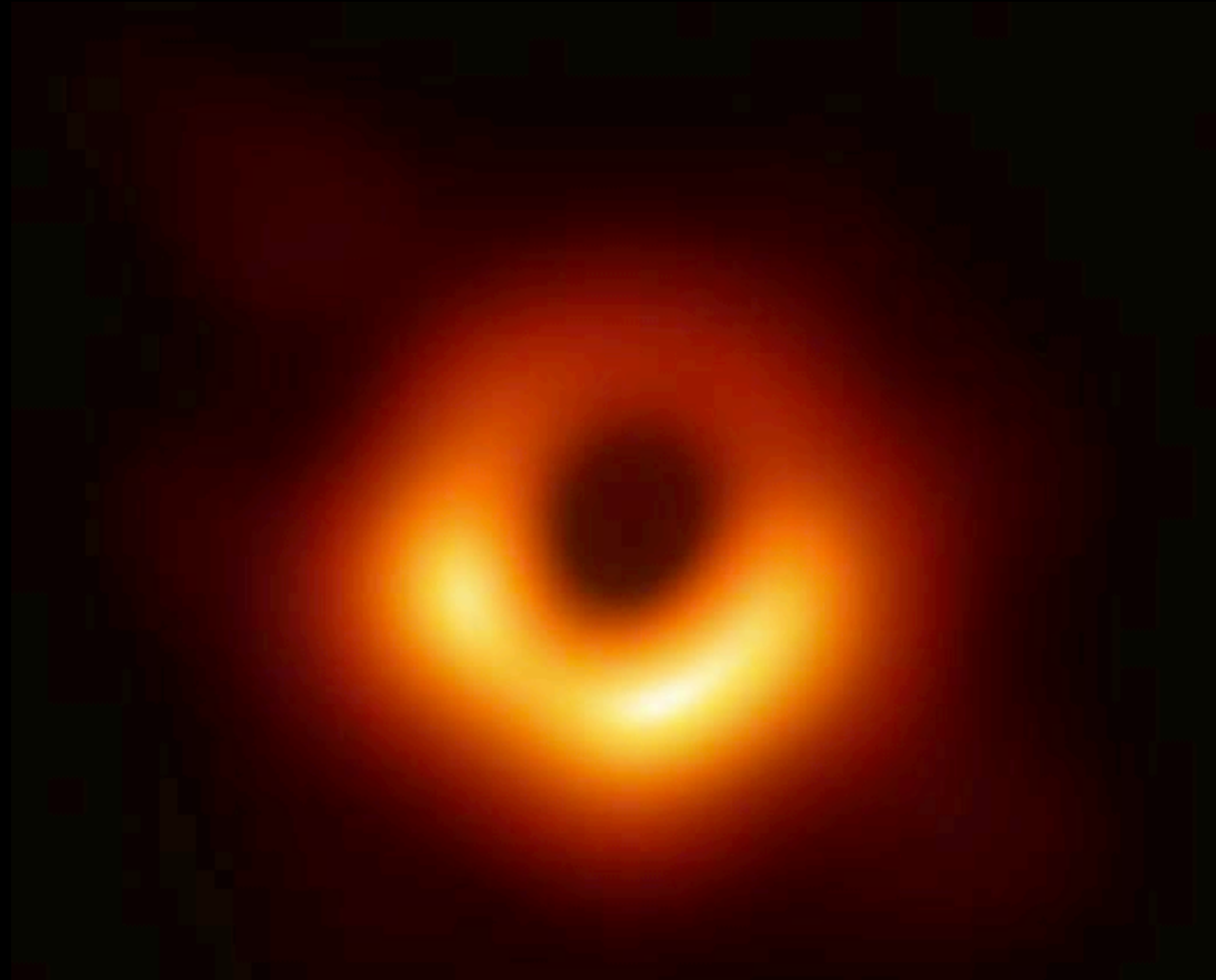
Observation



Théorie



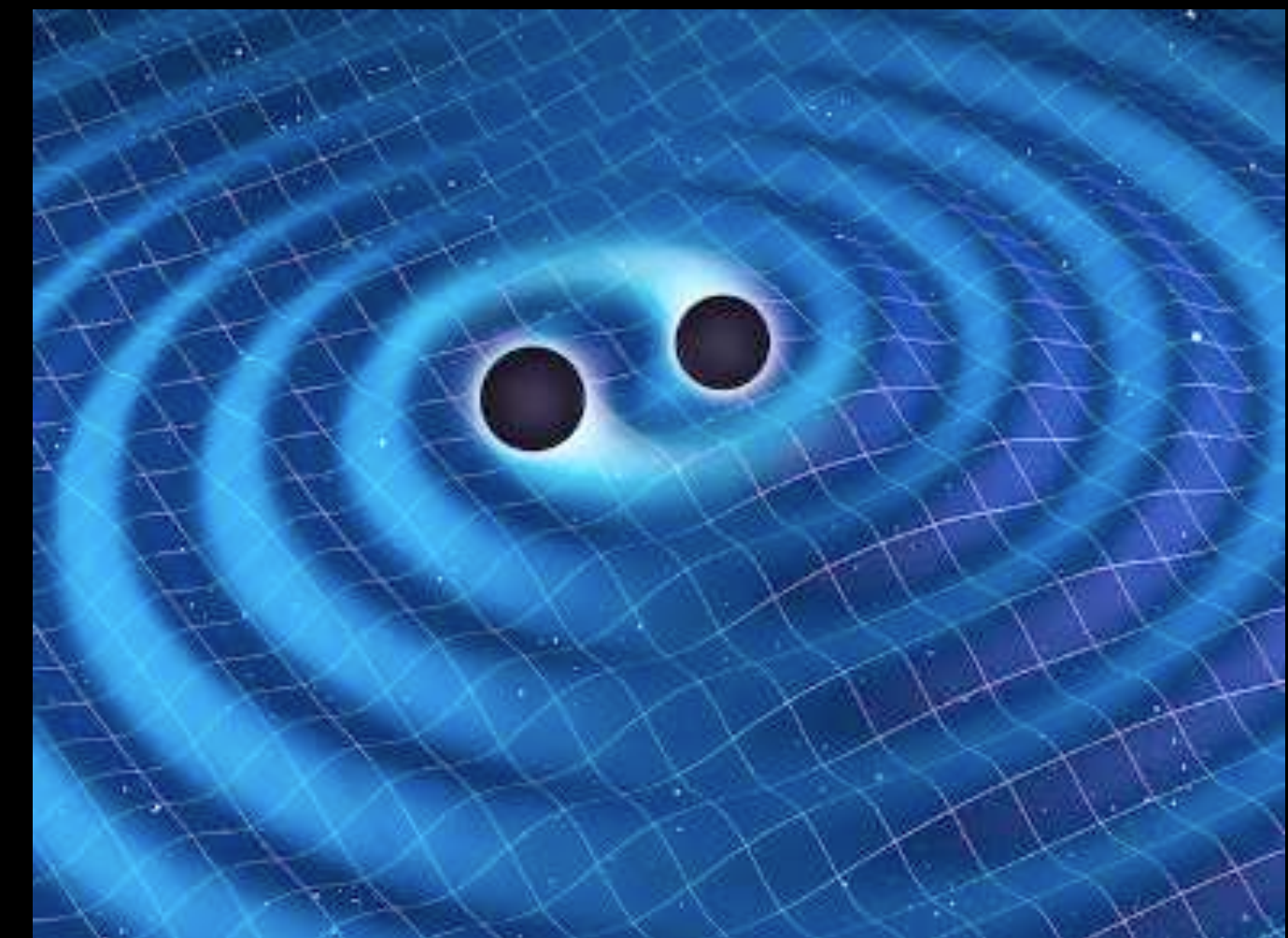
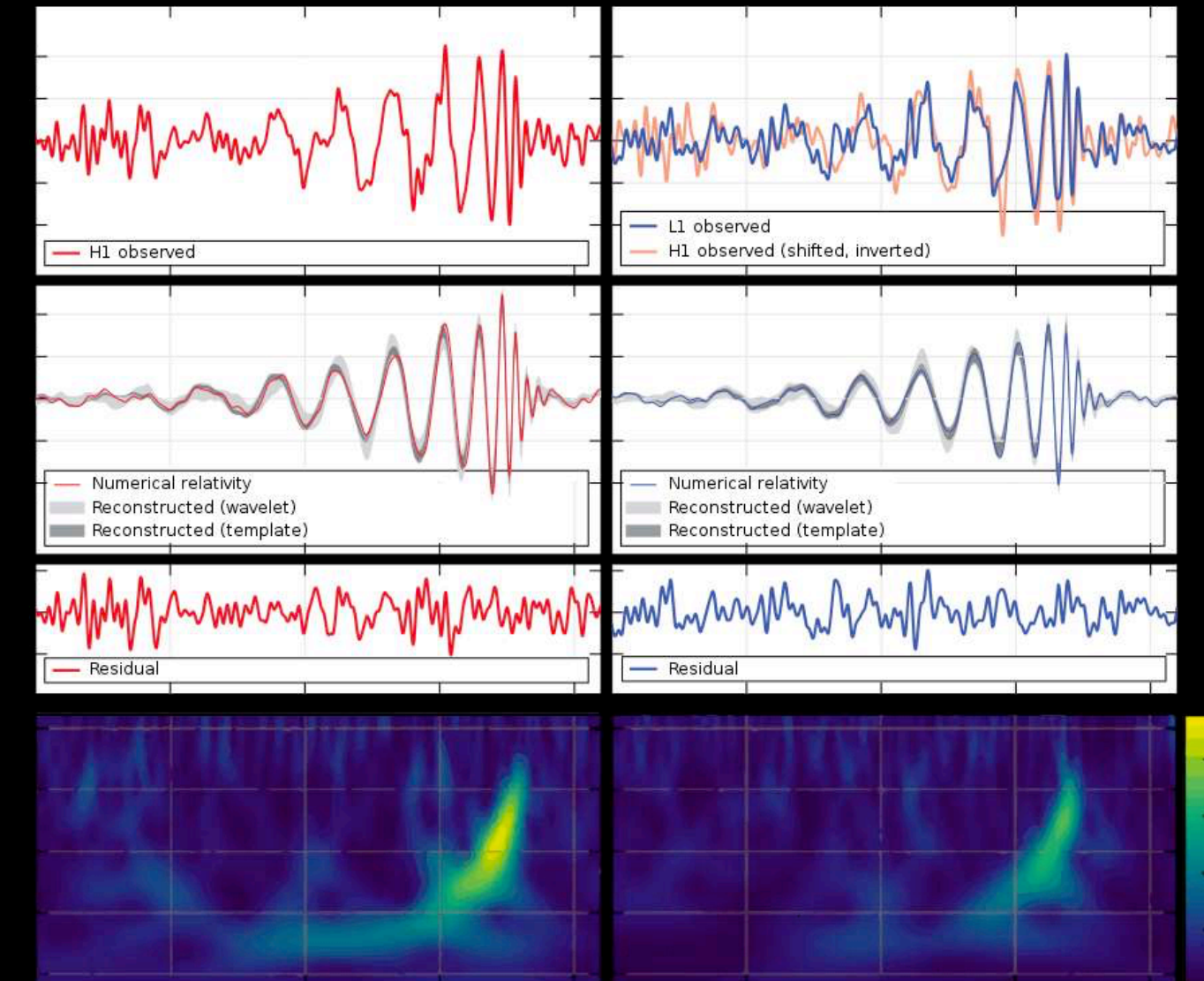
Observation



Théorie

Et les trous noirs dans tout ça?  
Une prochaine fois...

Observation



Théorie