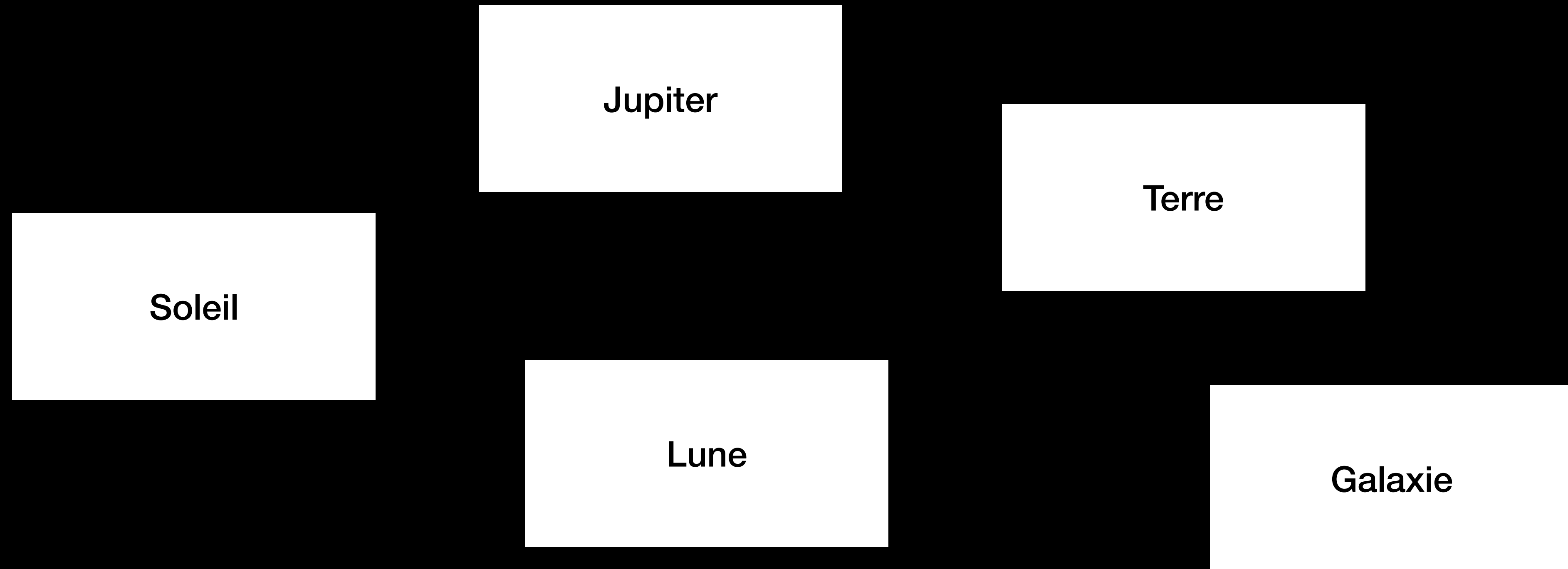


# Le côté obscur de l'Univers

Julián Bautista

**Où sommes nous dans l'Univers ?**

# Les échelles cosmiques



# Les échelles cosmiques



Plus petit

Plus grand

Lune

Terre

Jupiter

Soleil

Galaxie

# 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

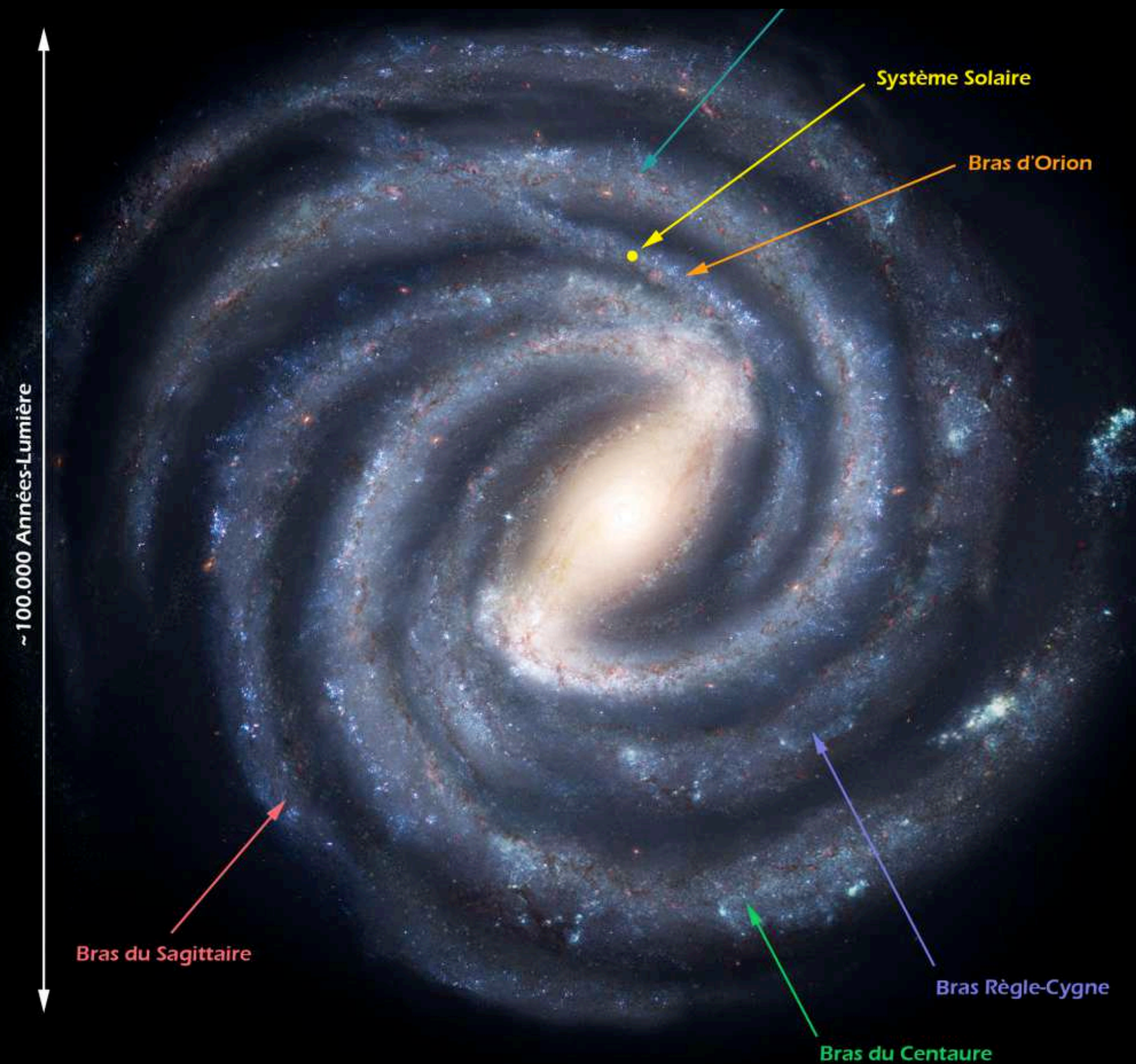
# C'est quoi ?

La Voie Lactée

# C'est quoi ?

La Voie Lactée

# Combien d'étoiles dans notre Galaxie ?



La Voie Lactée

12

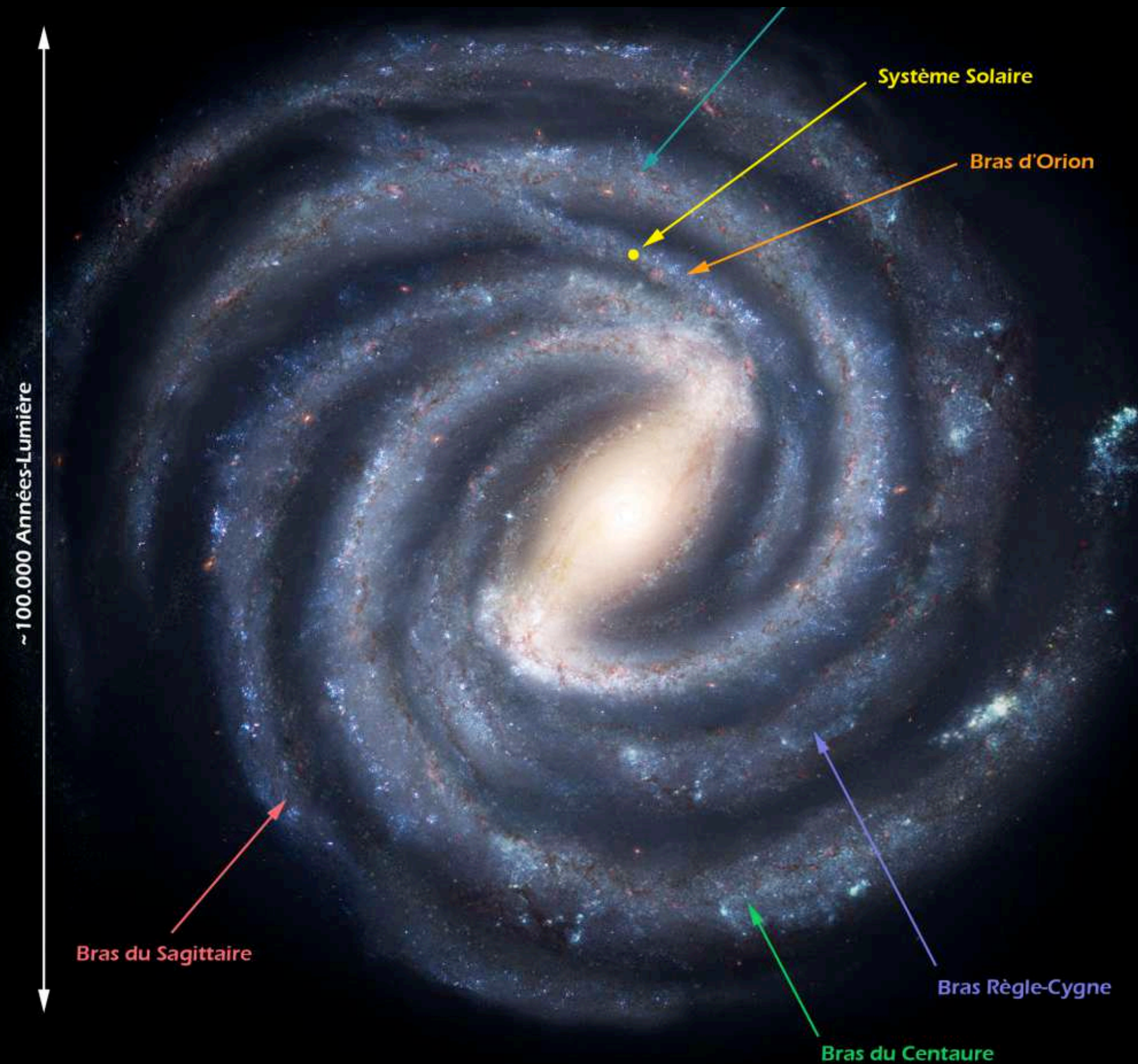
1000

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

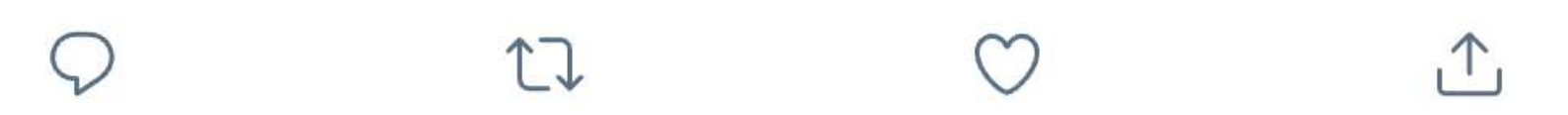


**Charles Messier**  
@Username

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



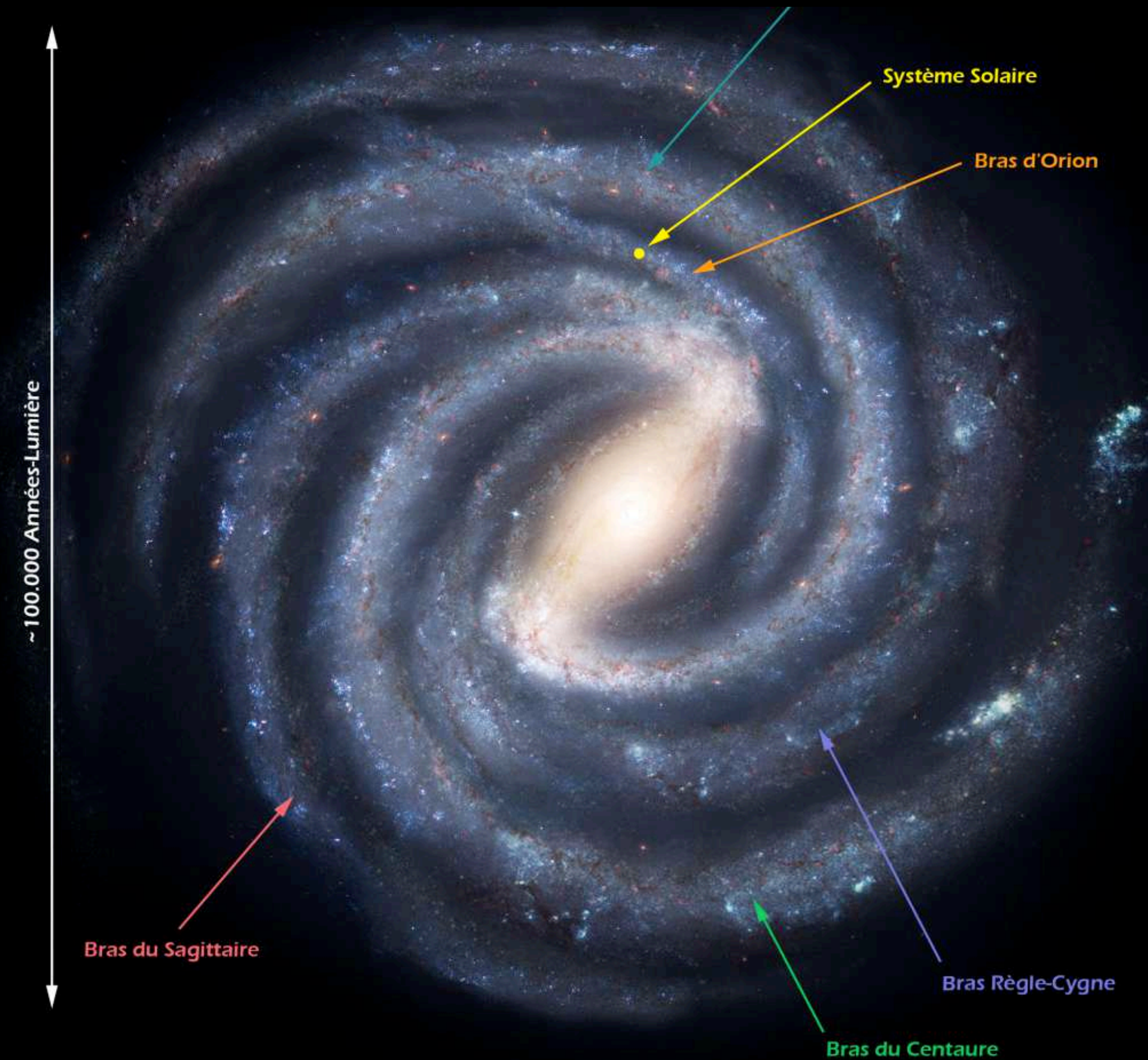
~ 100.000 Années-Lumière

Bras du Sagittaire

Bras Règle-Cygne

Bras du Centaure

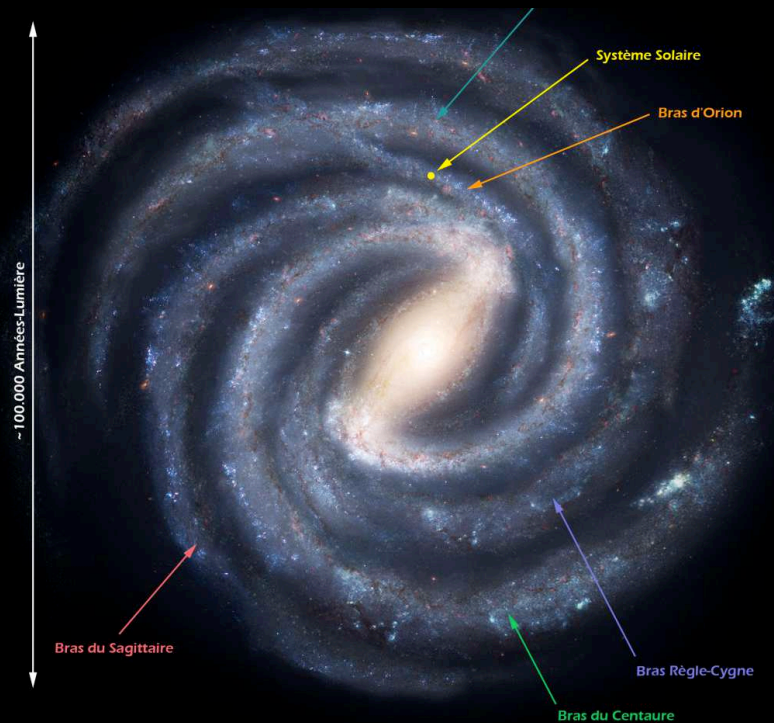
# Qu'est-ce qu'il y a au-delà ?





# Qu'est-ce qu'il y a au-delà ?

M31 - Galaxie d'Andromède



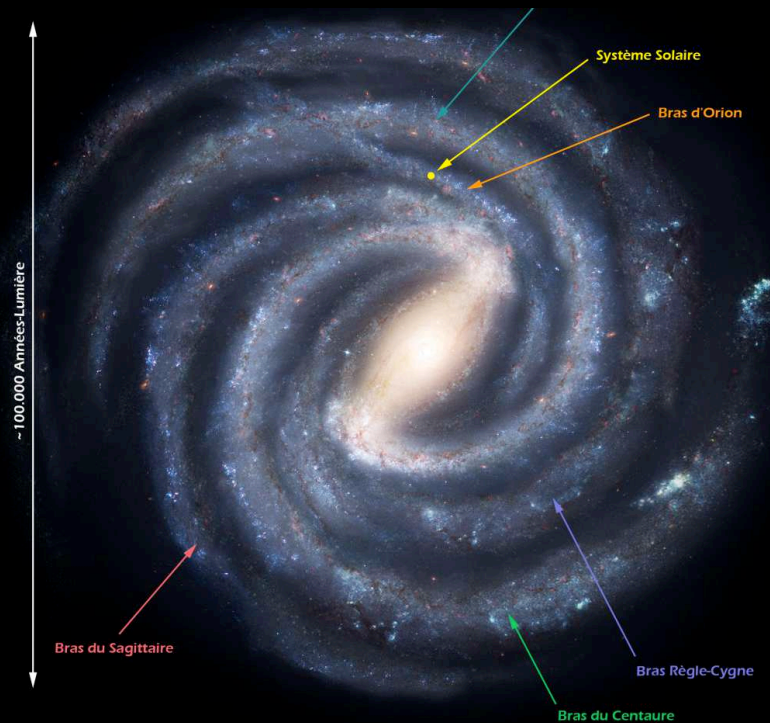
La Voie Lactée



Une autre galaxie comme la nôtre !

# Qu'est-ce qu'il y a au-delà ?

M31 - Galaxie d'Andromède

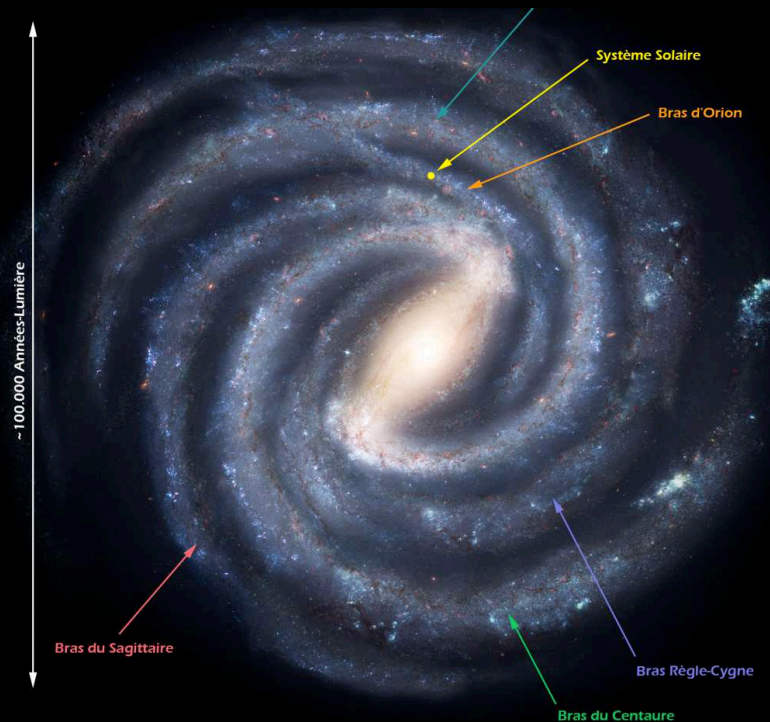


La Voie Lactée

Une autre galaxie comme la nôtre !

# Qu'est-ce qu'il y a au-delà ?

M31 - Galaxie d'Andromède



Une autre galaxie comme la nôtre !

 **Edwin Hubble**  
@Username

Mais ces objets sont plus loins que ce qu'on imagine!

12:00 PM · Jun 1, 1923

200 Retweets 22 Quote Tweets 2 Likes

Qu'est-ce qu'il y a au-delà ?



Qu'est-ce qu'il y a au-delà ?



Qu'est-ce qu'il y a au-delà ?



# 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)

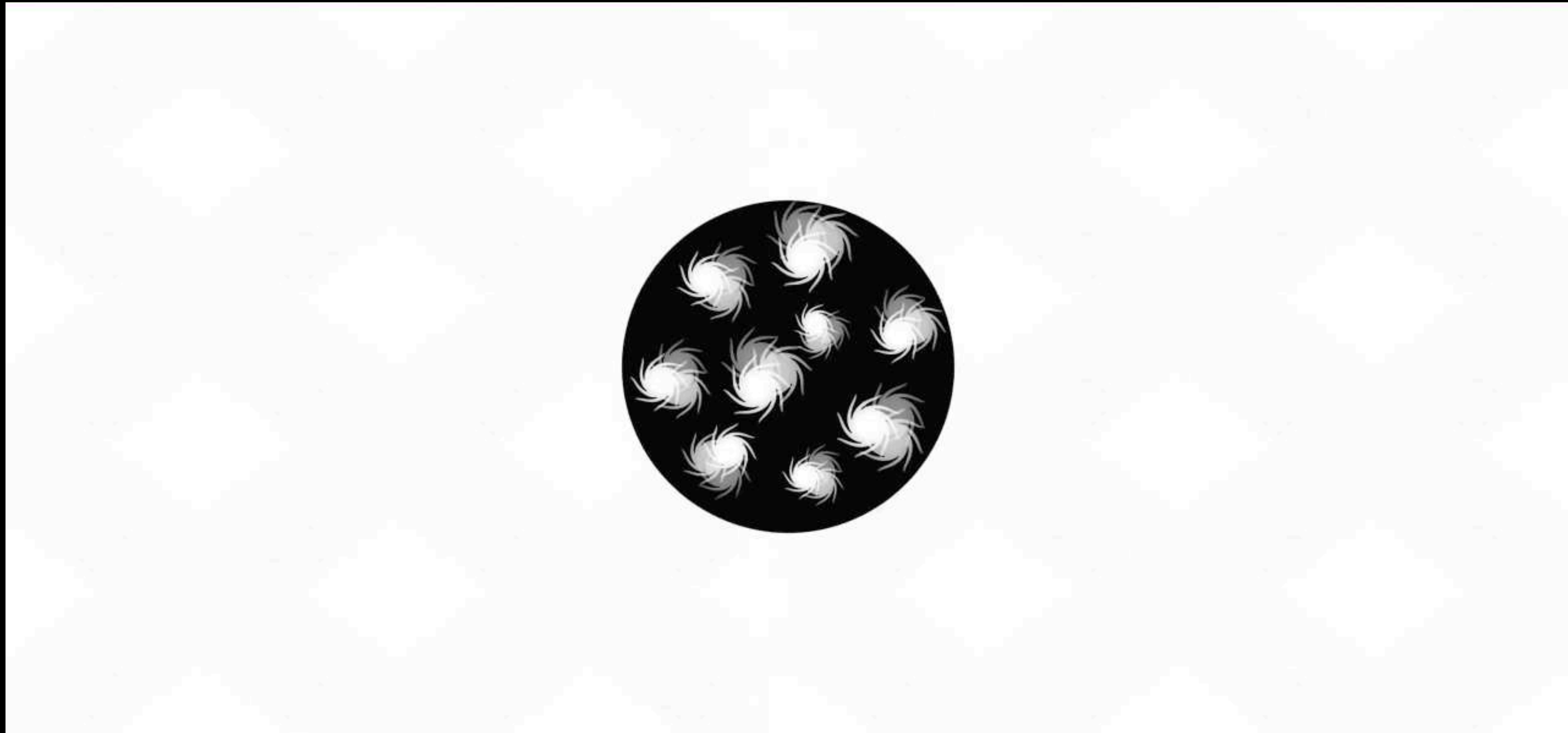
1 000 000 000 000 000 (billiard)





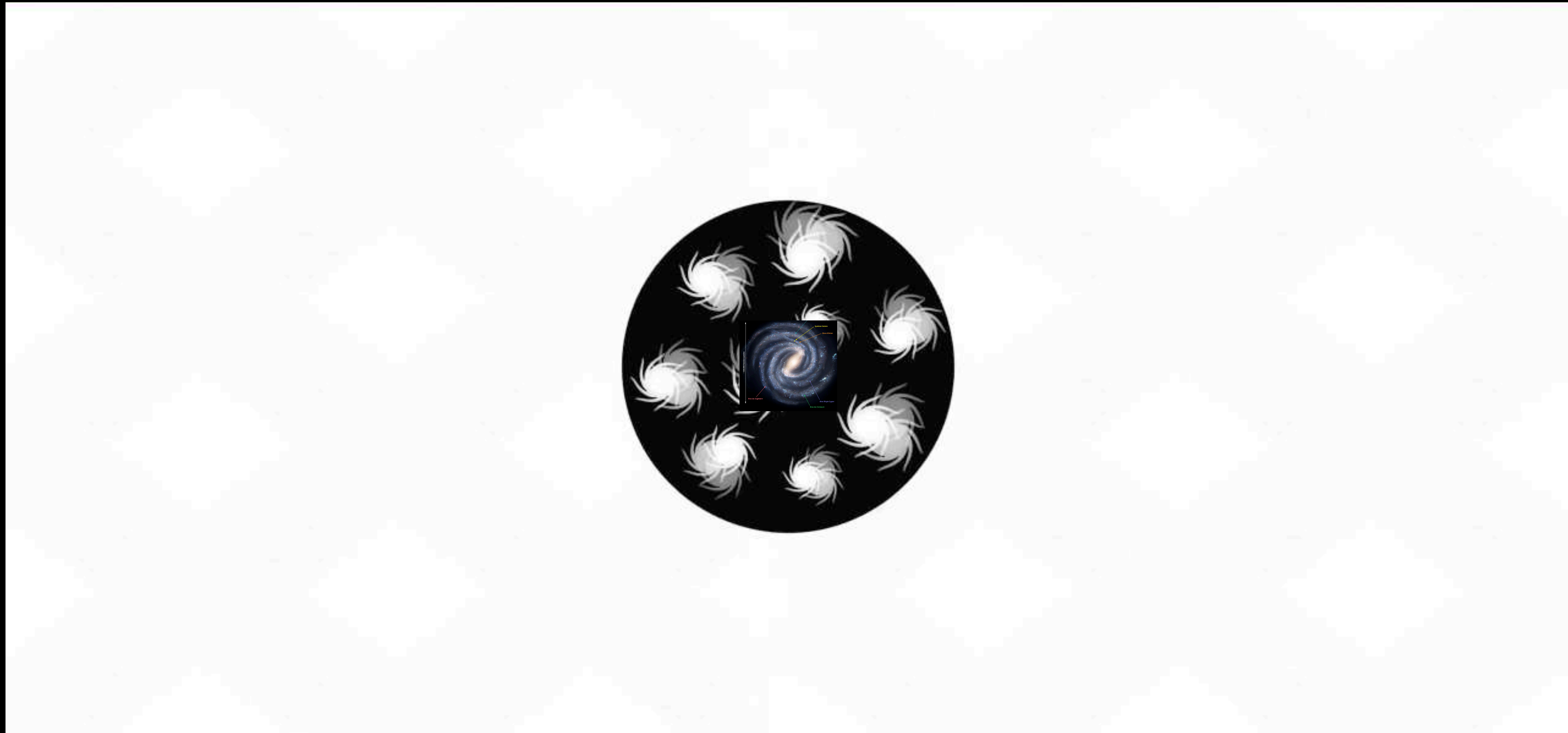
# L'expansion de l'Univers

# L'expansion de l'Univers



Distance entre galaxies augmente...

# L'expansion de l'Univers



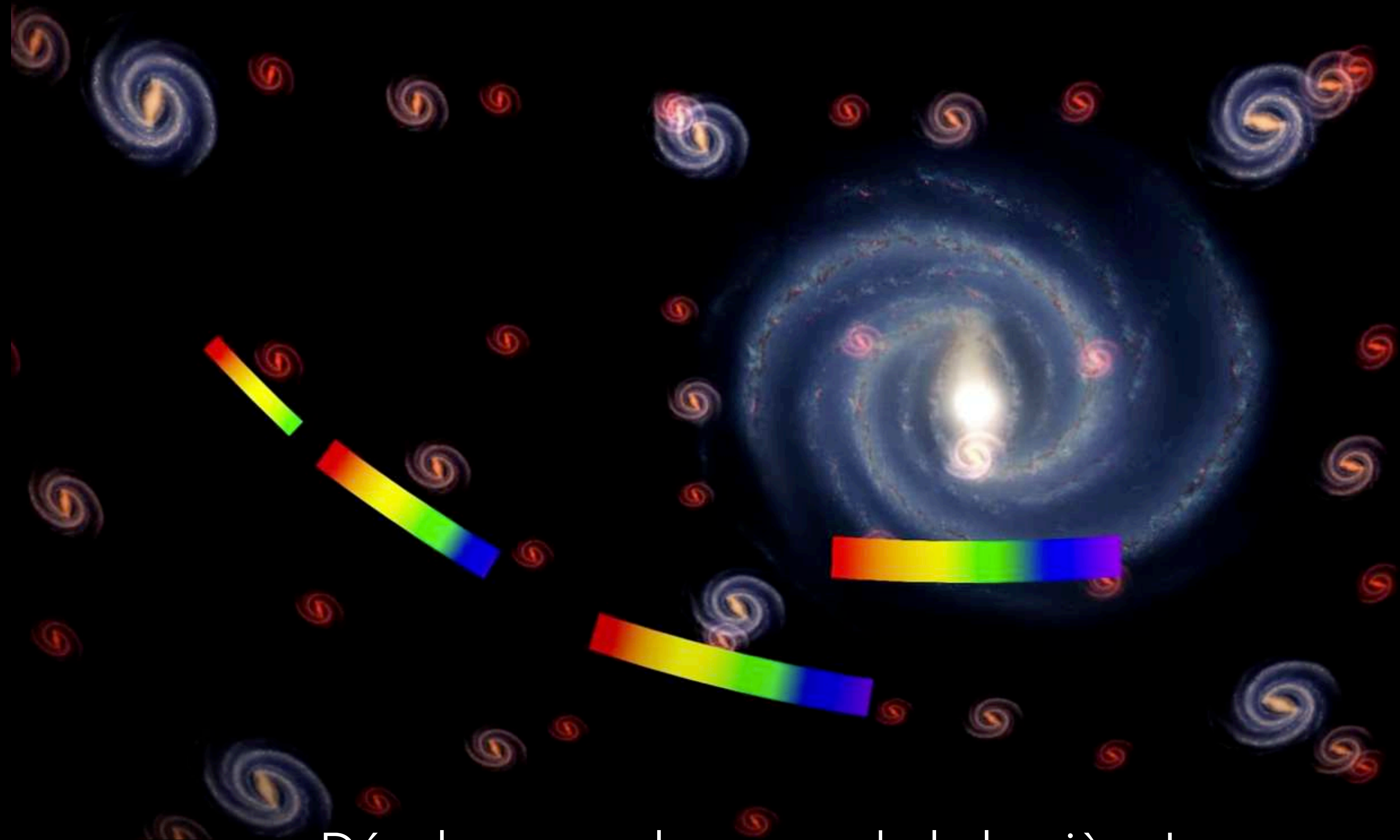
Distance entre galaxies augmente...

# 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



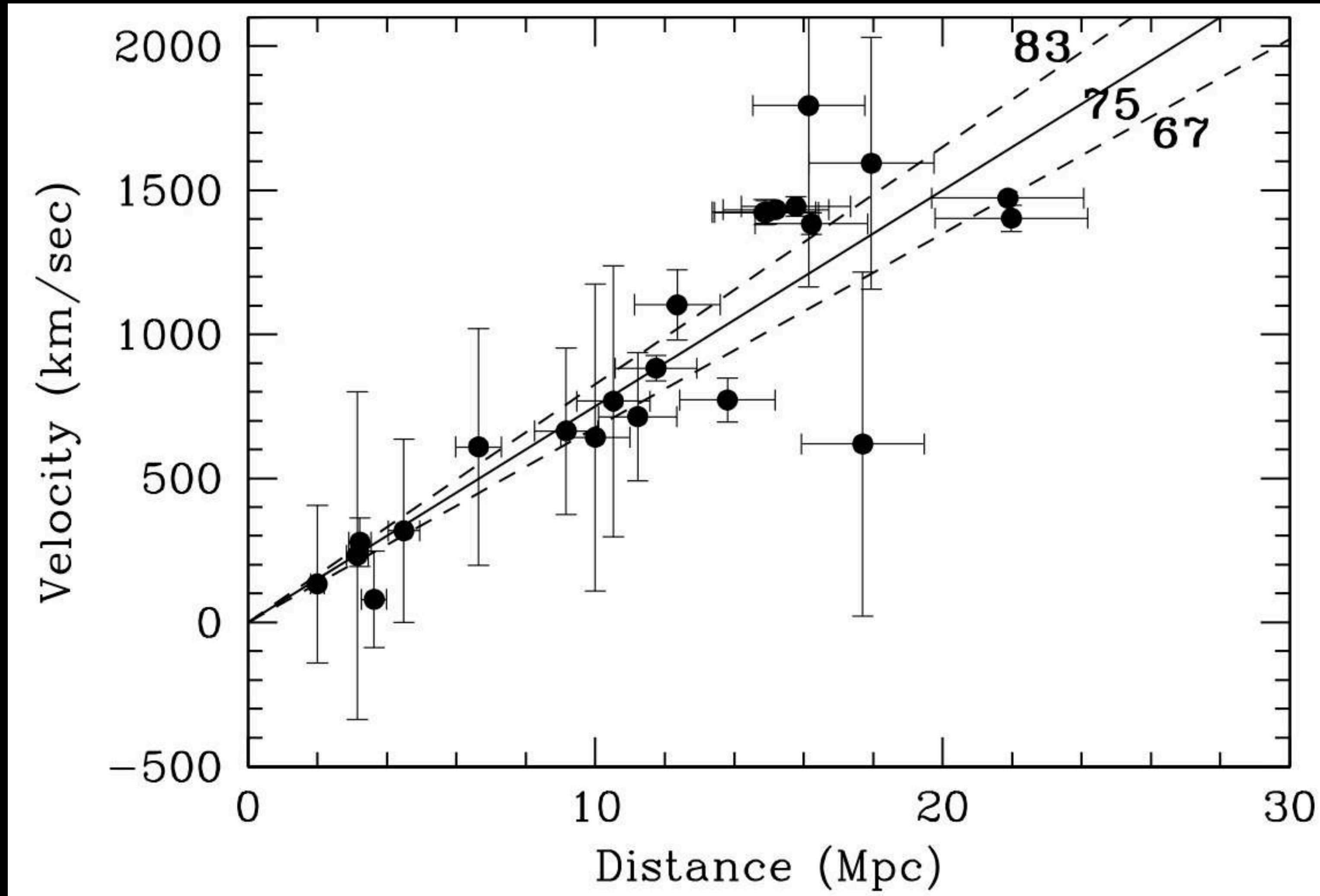
Effet Doppler du son et de la lumière

# L'expansion de l'Univers



Effet Doppler du son et de la lumière

# L'expansion de l'Univers



Vitesse en km/s  
(décalage vers le rouge)

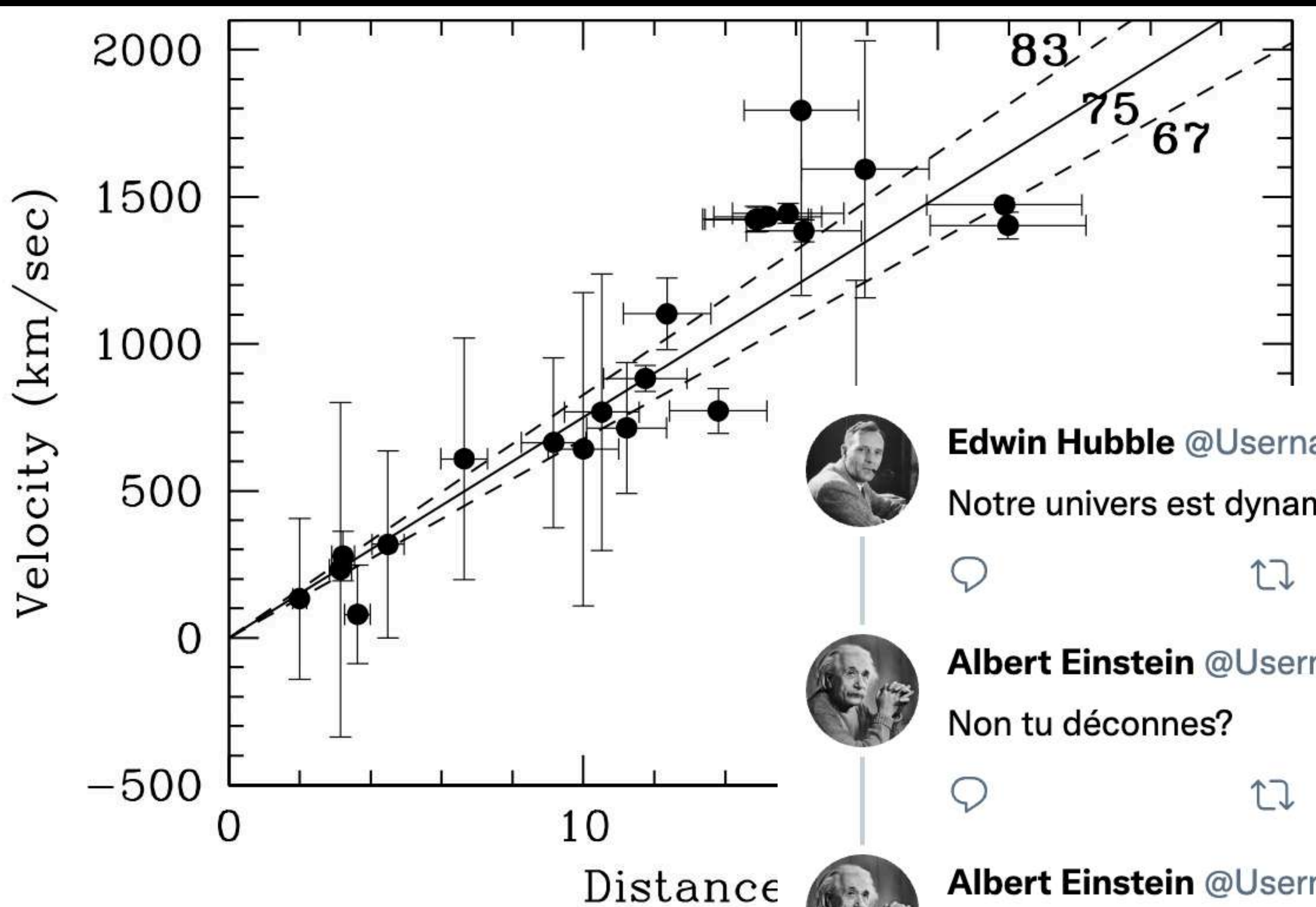


1 Mpc = 3 millions d'années lumière



# L'expansion de l'Univers

Vitesse en km/s  
(décalage vers le rouge)



1 Mpc = 3 millions d'années-lumière



**Edwin Hubble** @Username · Jun 1, 1929

Notre univers est dynamique les gars!



**Albert Einstein** @Username · Jun 1, 1929

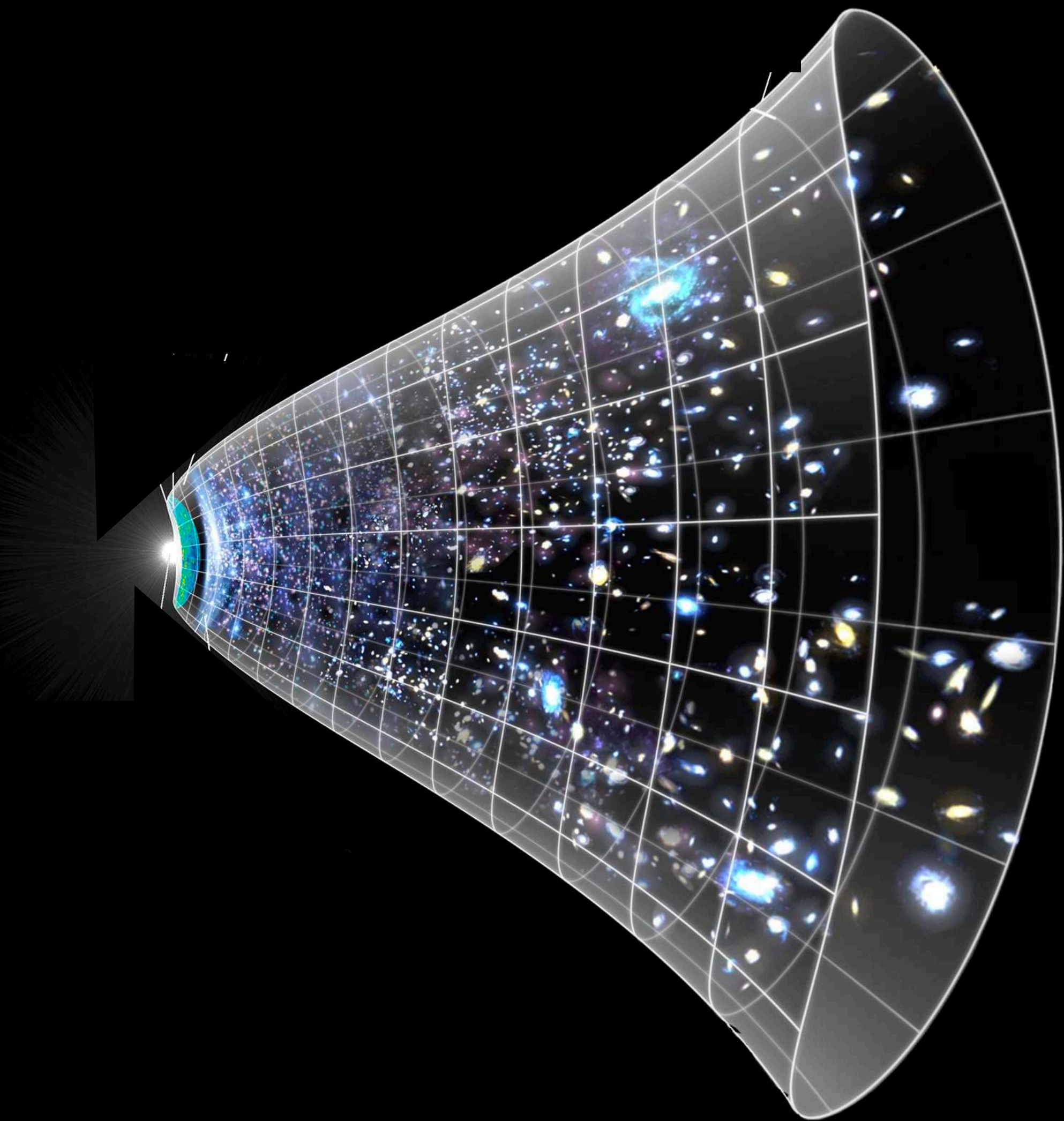
Non tu déconnes?



**Albert Einstein** @Username · Jun 1, 1929

Mea culpa!





Observations



Théorie



**Georges Gamow**

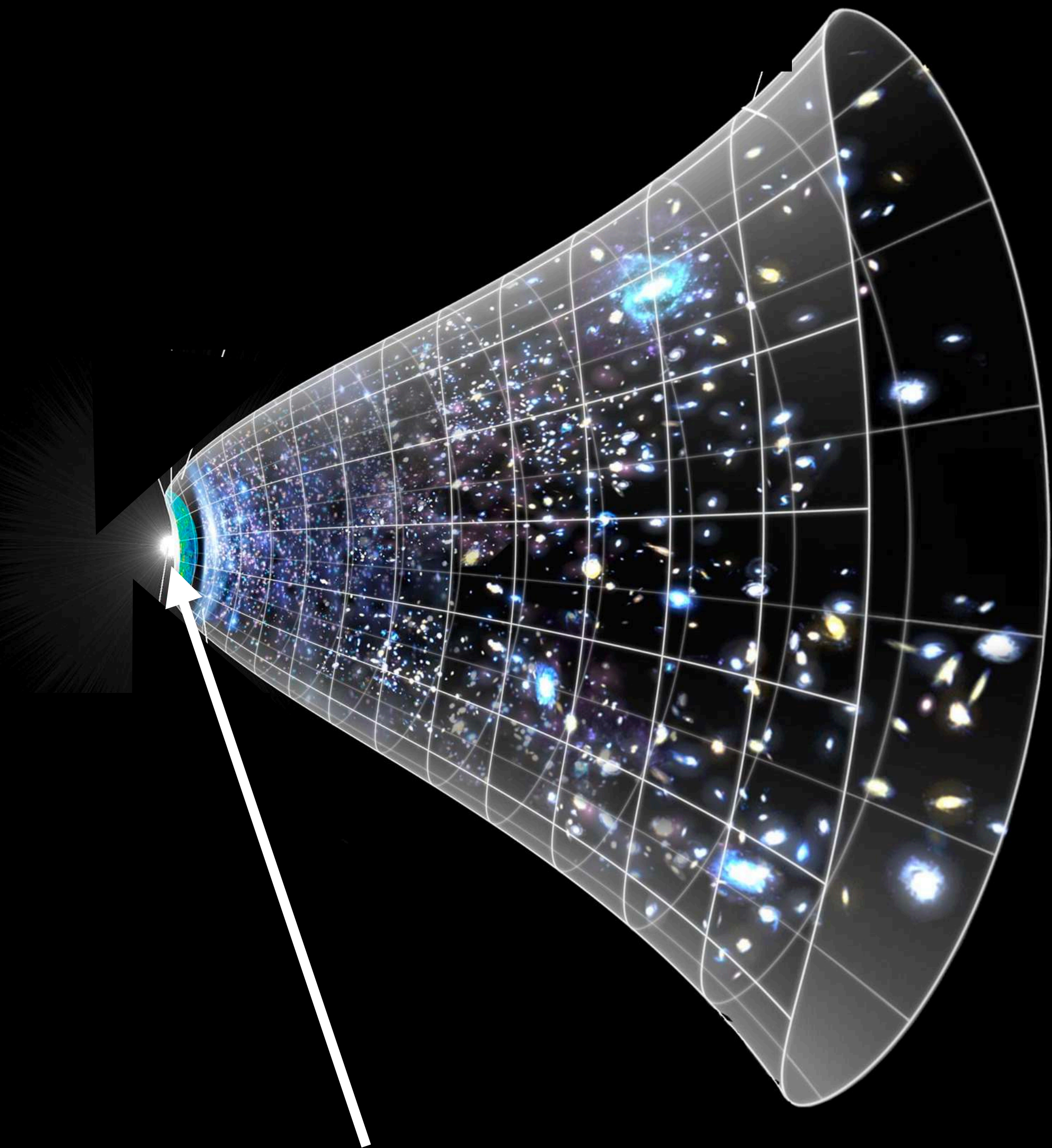
@GG



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

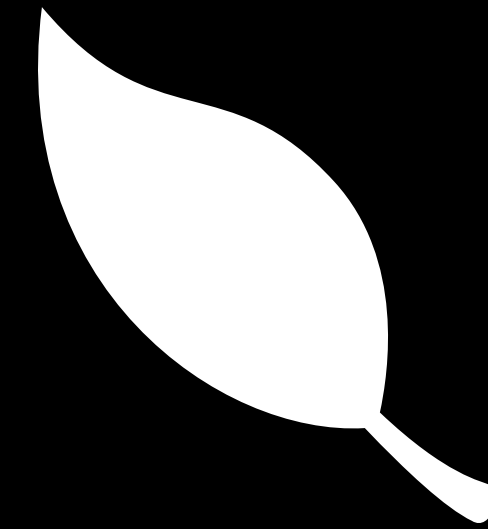
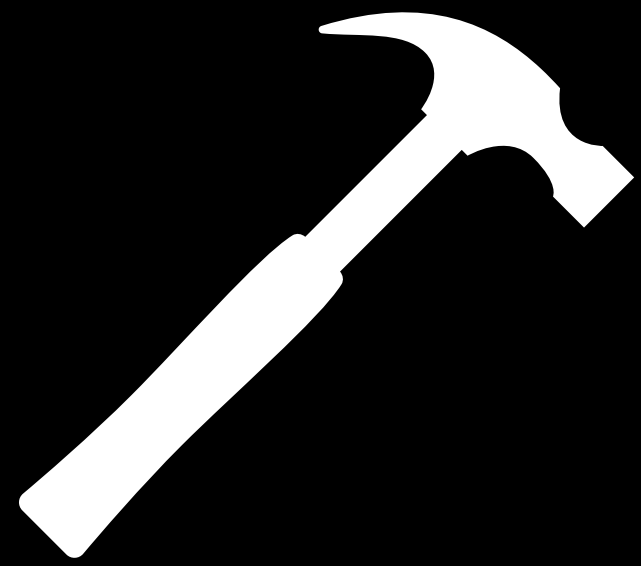
 **Georges Gamow**  
@GG

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

12:00 PM · Jul 3, 1946

Observations → Théorie <sup>Test</sup> → Observations



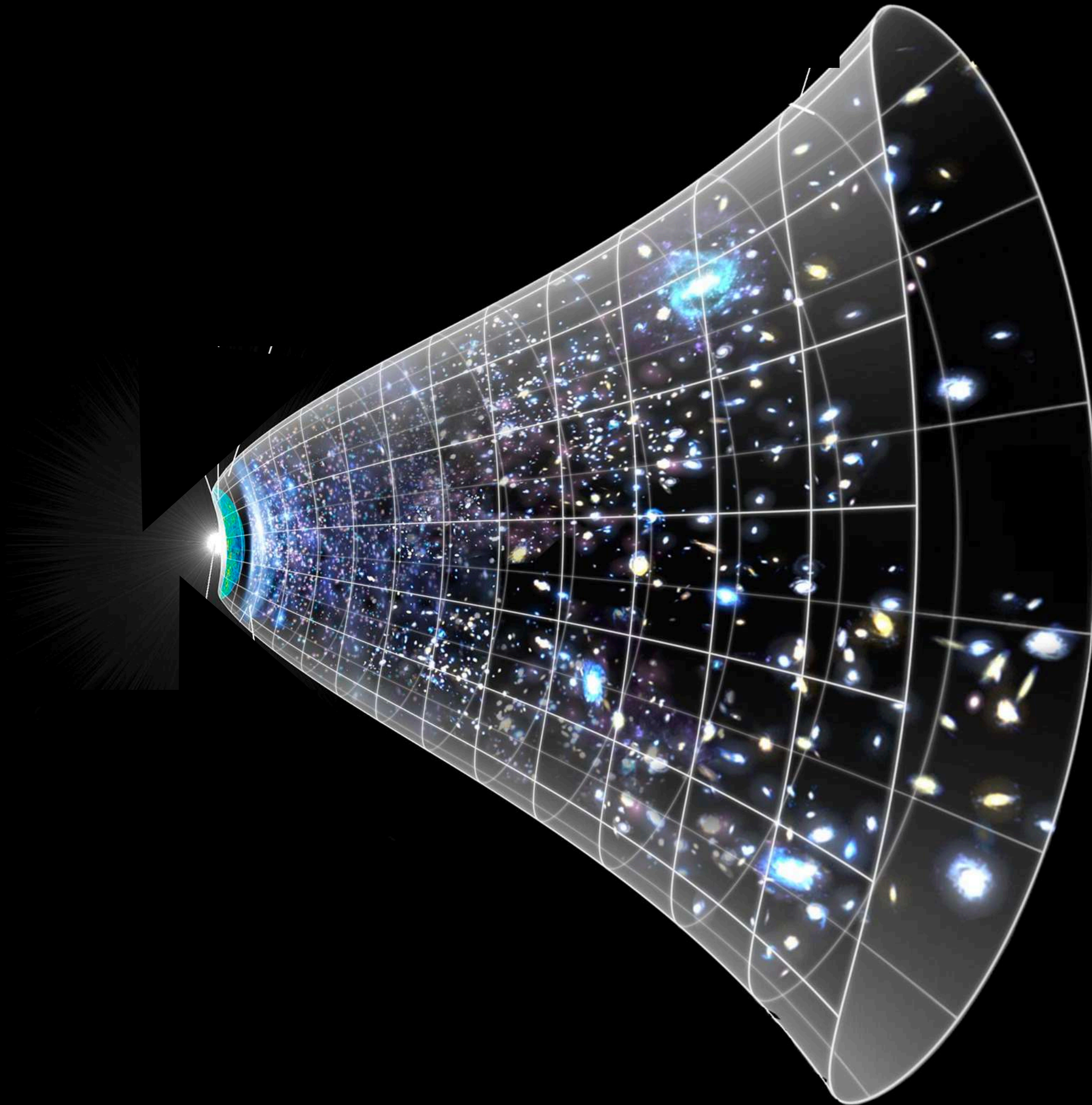
**Quel objet touche le sol en premier ?**

Observations → Théorie <sup>Test</sup> → Observations

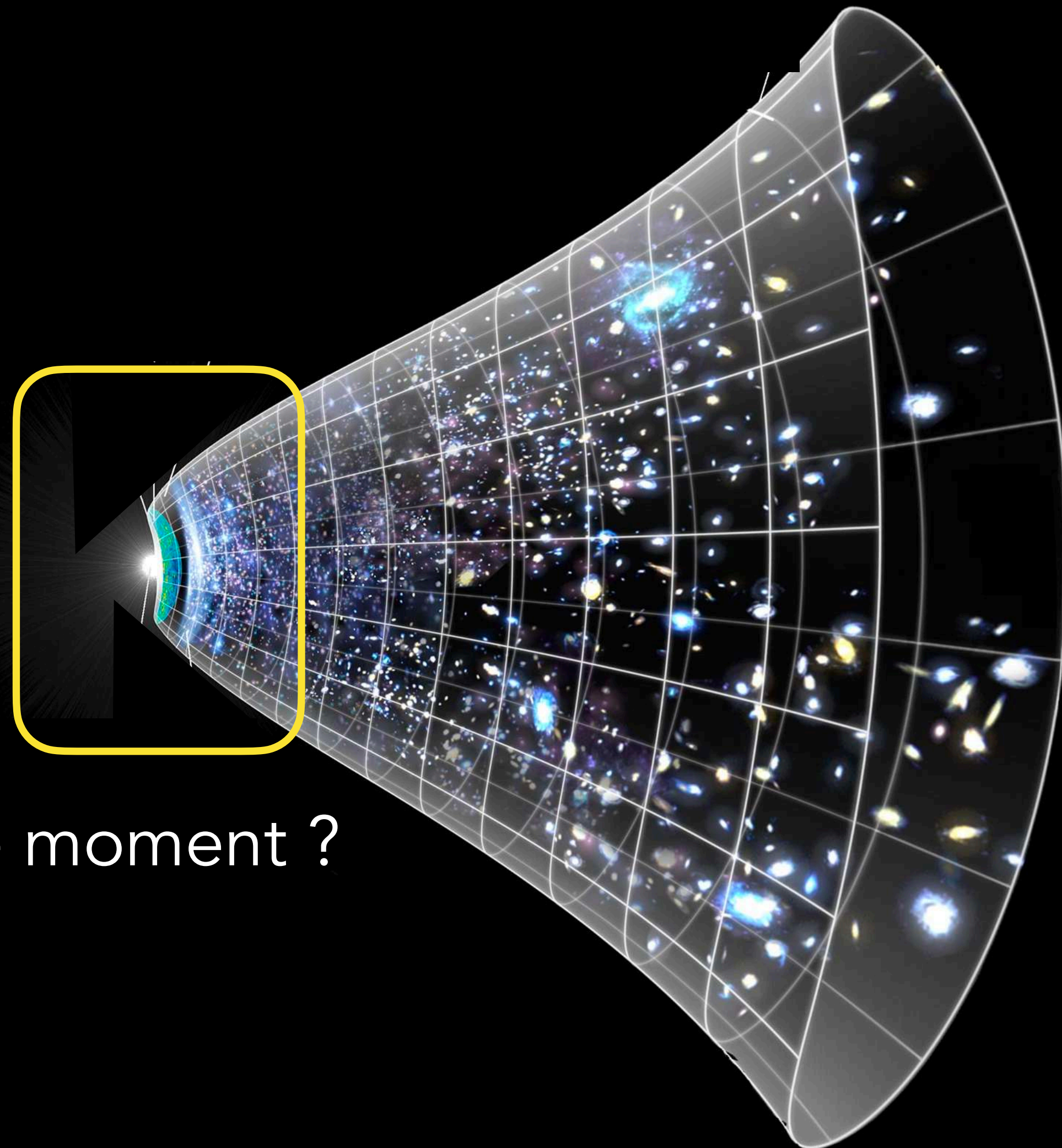


**Quel objet touche le sol en premier ?**

# Et pour le Big Bang ?



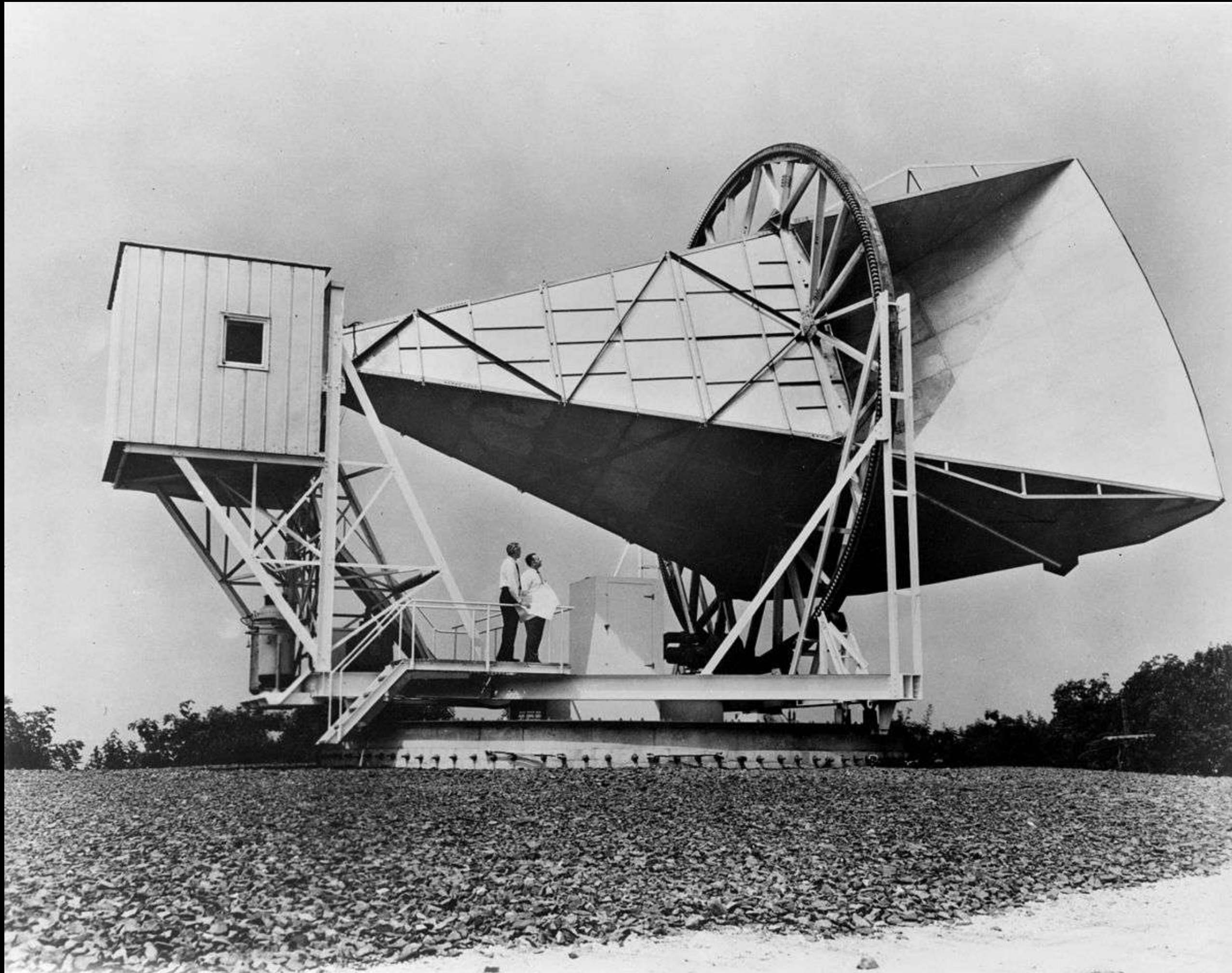
# Et pour le Big Bang ?



Peut-on observer ce moment ?

# Et pour le Big Bang ?

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

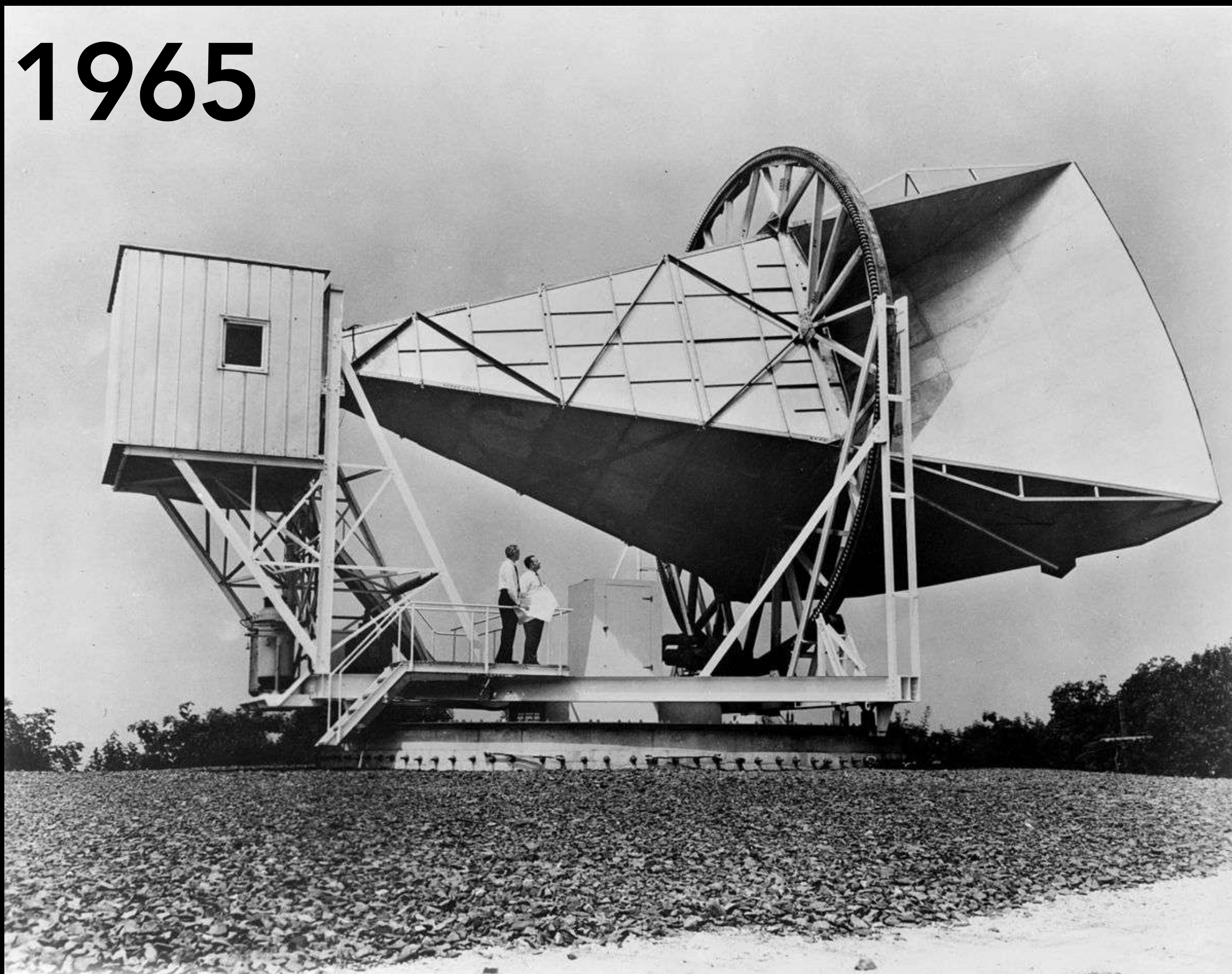




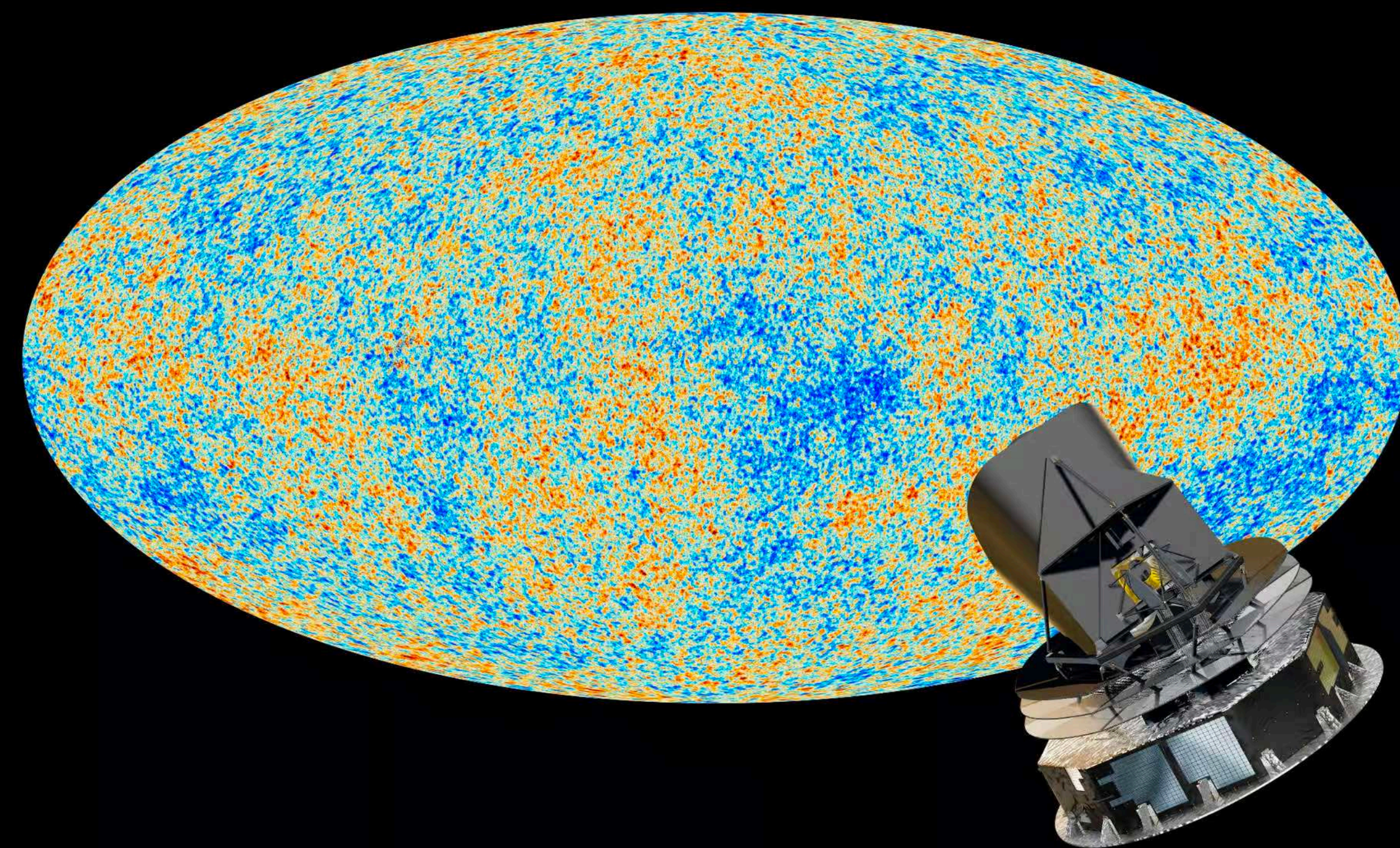
# Et pour le Big Bang ?

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



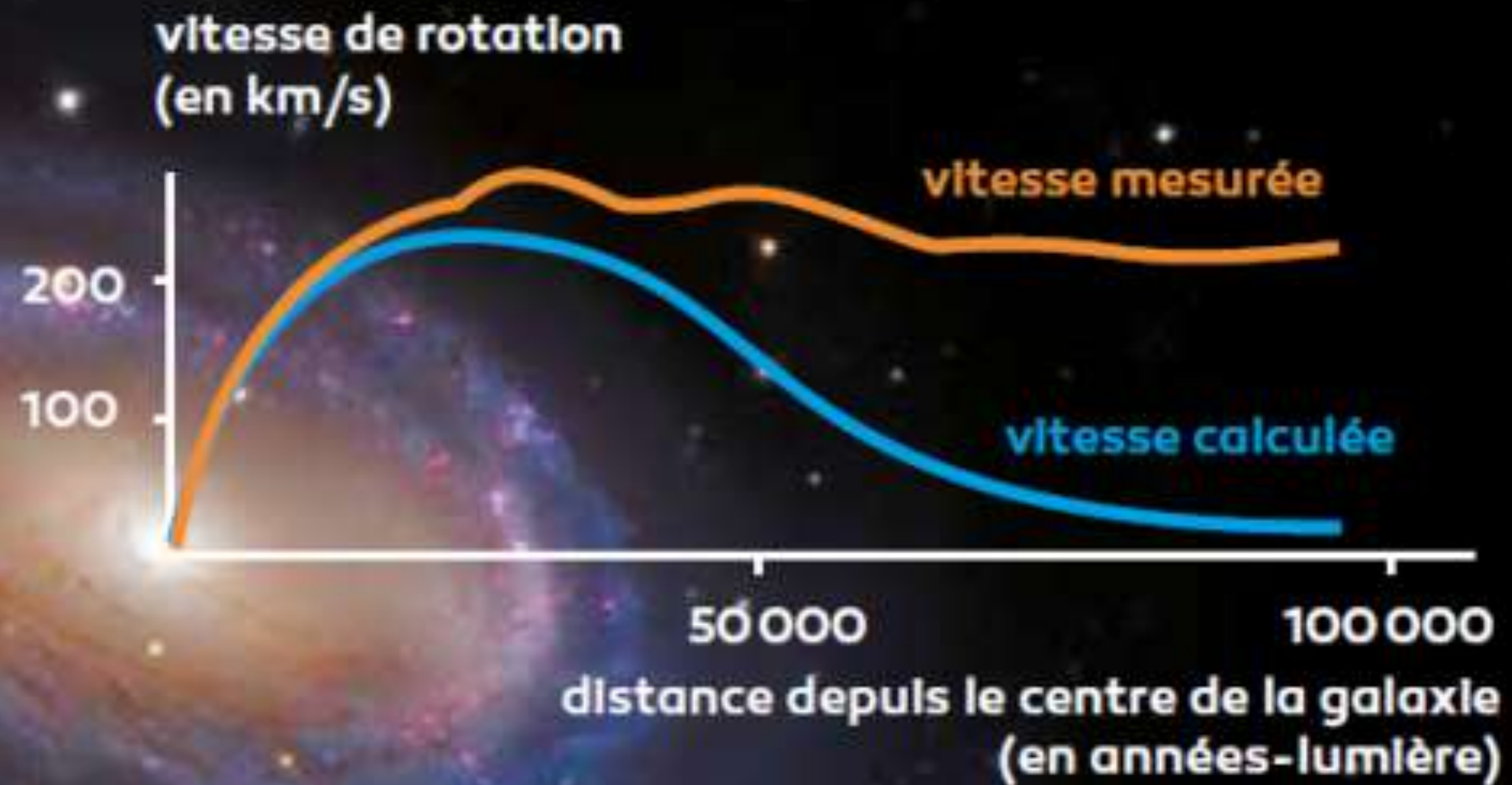
Fritz Zwicky @frizou · Jun 1, 1933

Ces galaxies sont bien trop lourdes!!!



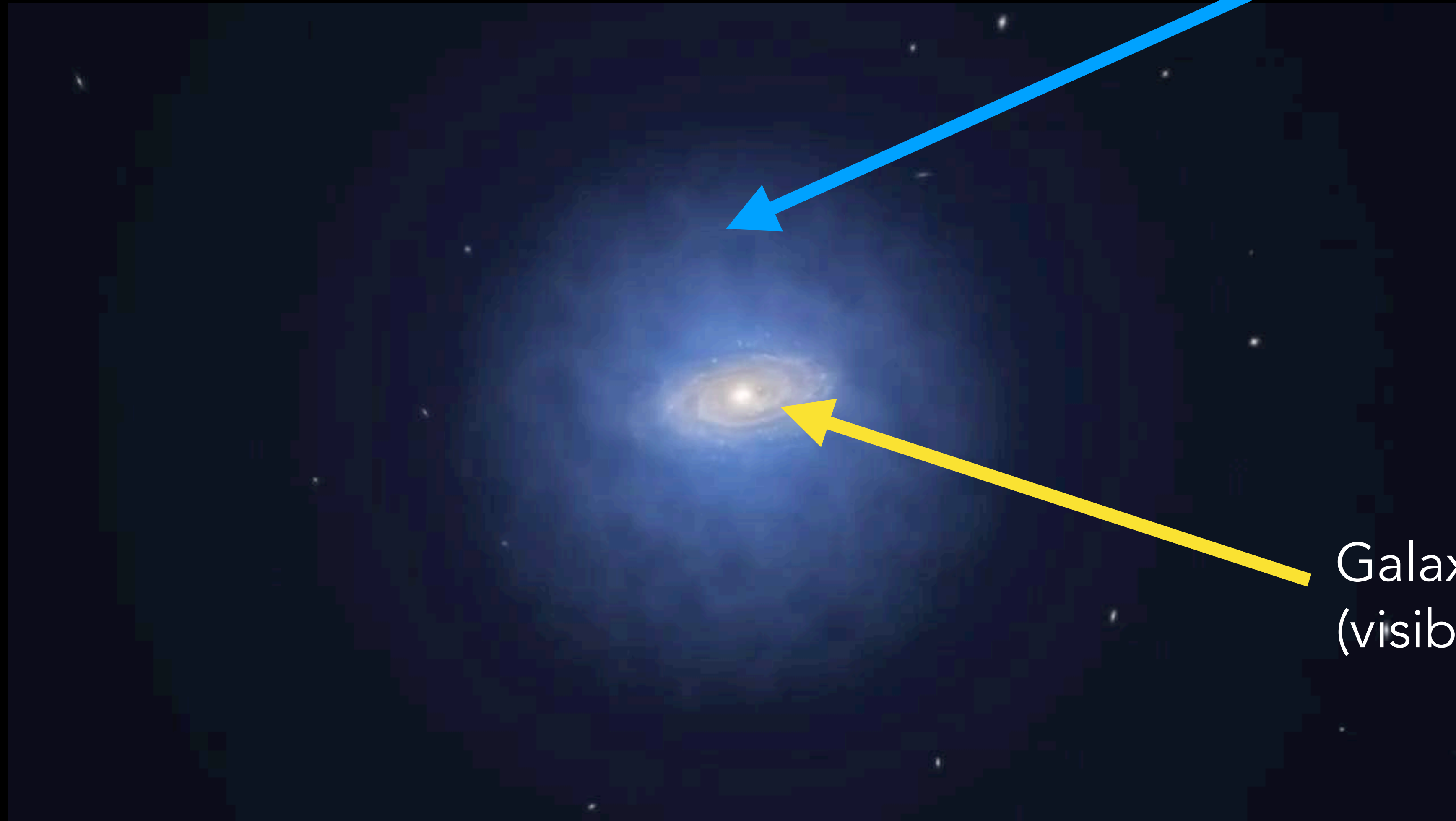
Vera Rubin @VR · Jun 1, 1970

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



# La matière noire

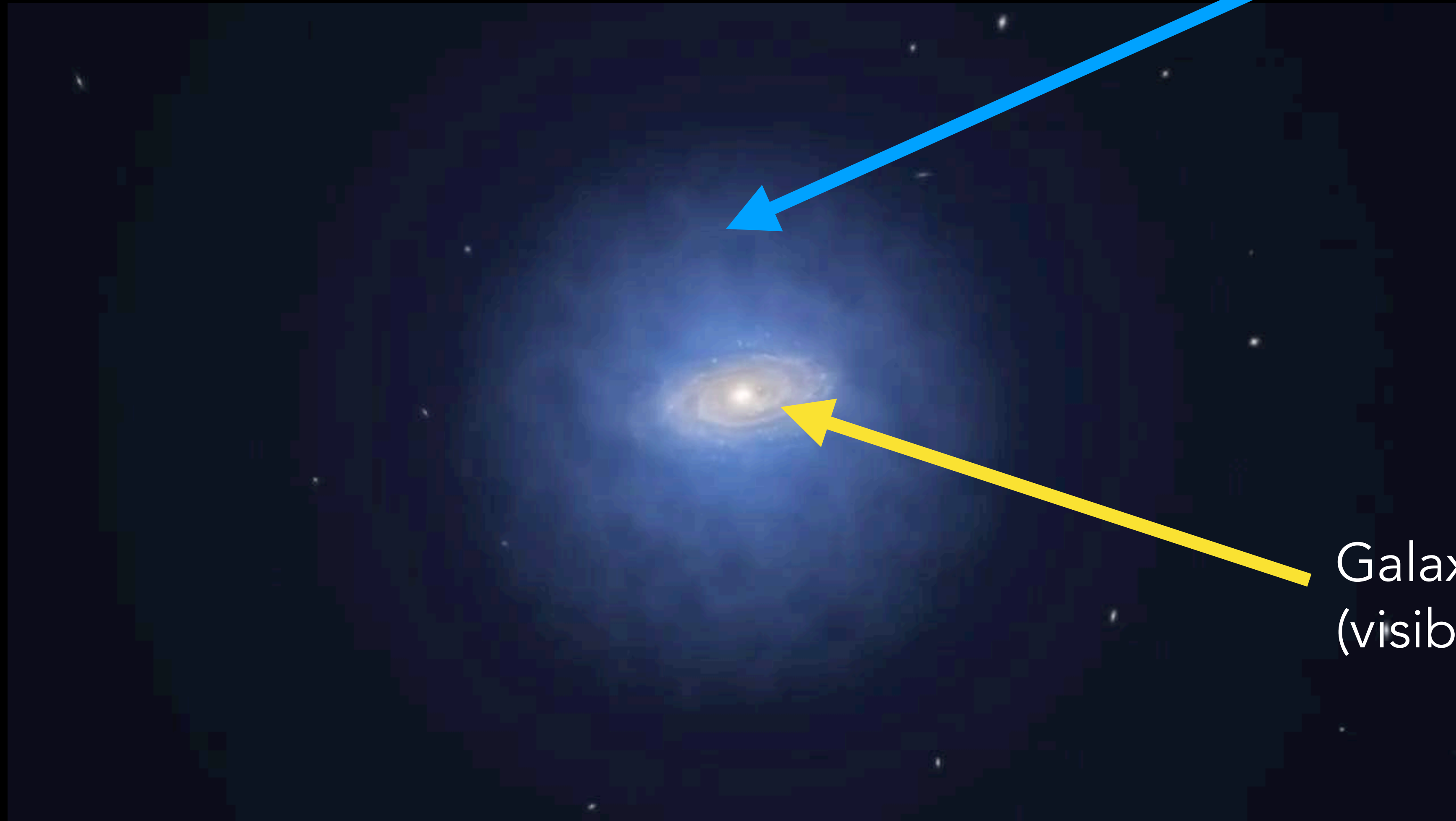
Halo de matière noire  
(invisible)



Galaxie  
(visible)

# La matière noire

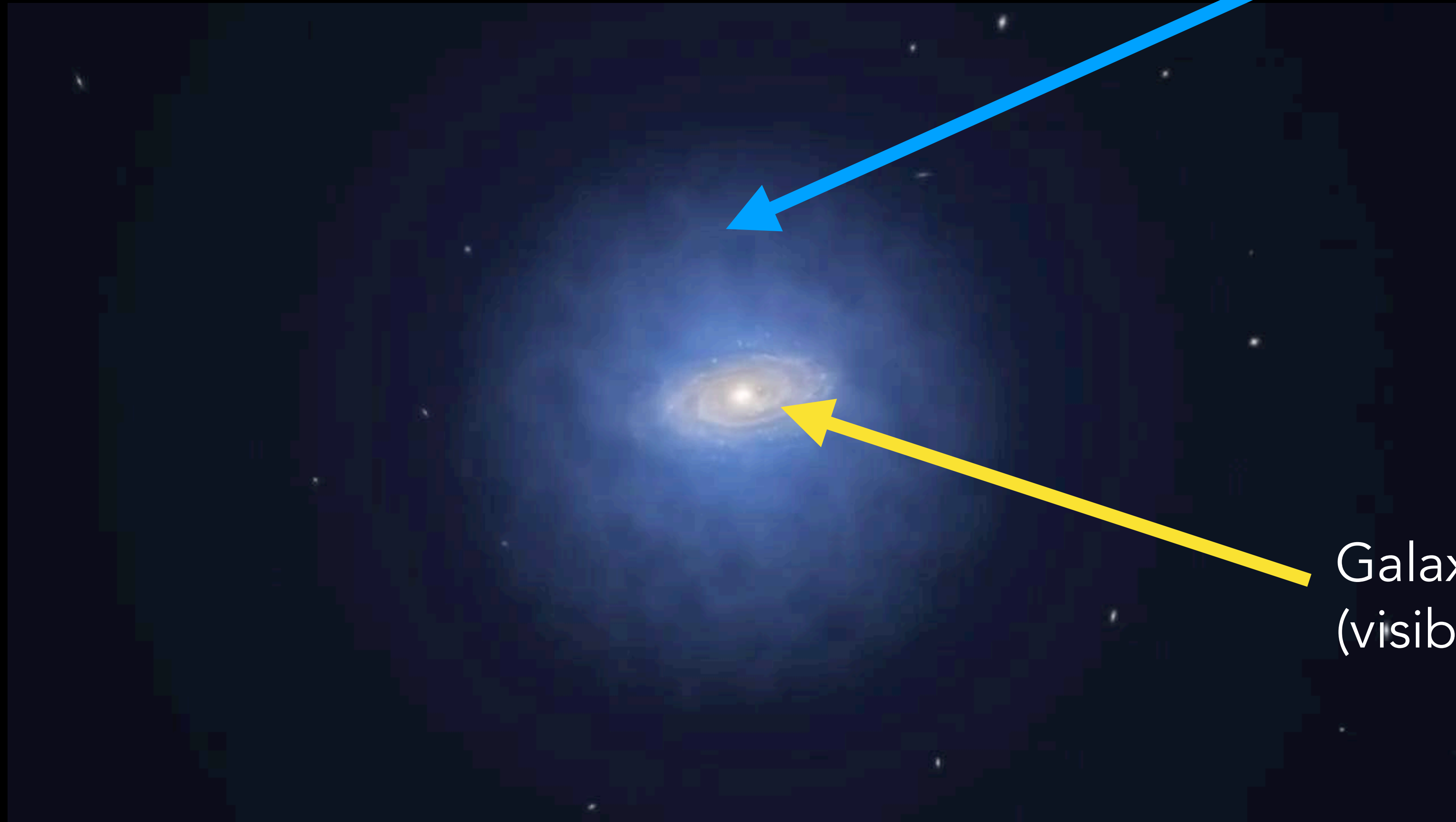
Halo de matière noire  
(invisible)



Galaxie  
(visible)

# La matière noire

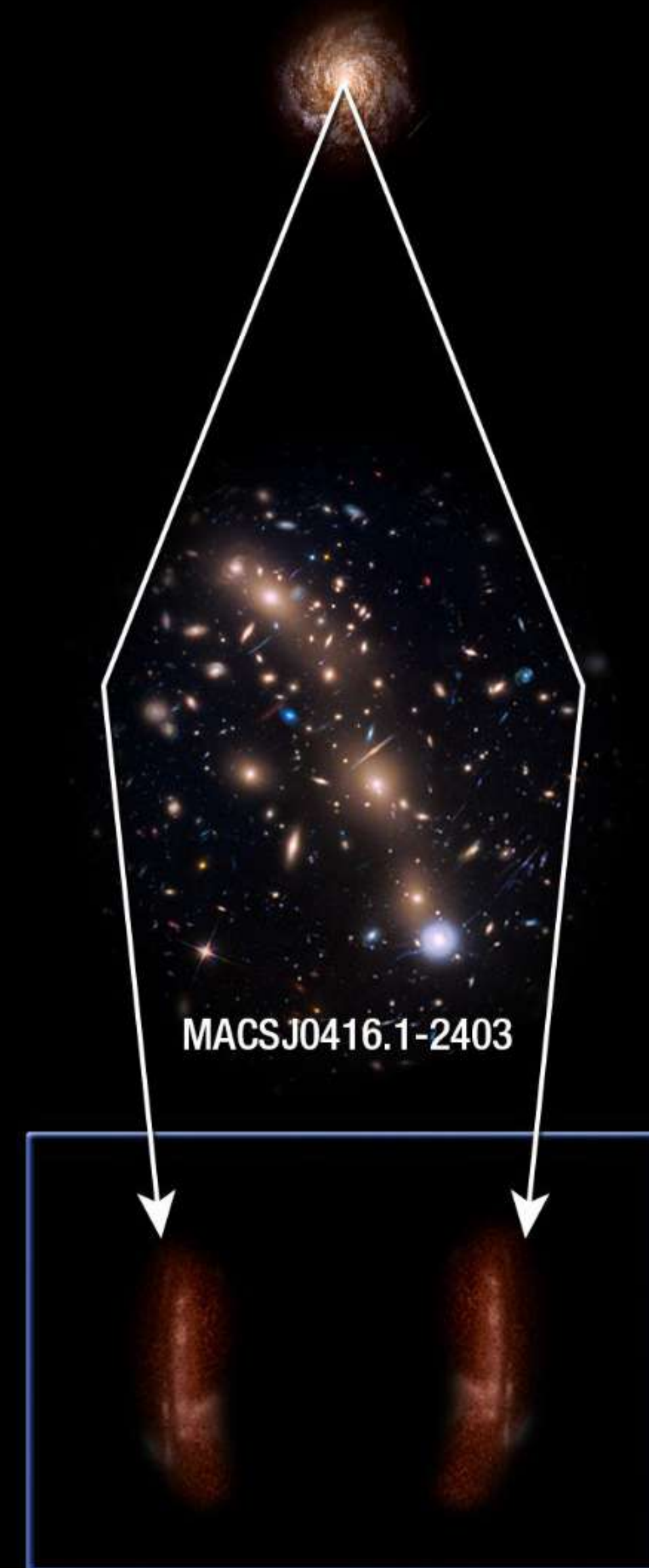
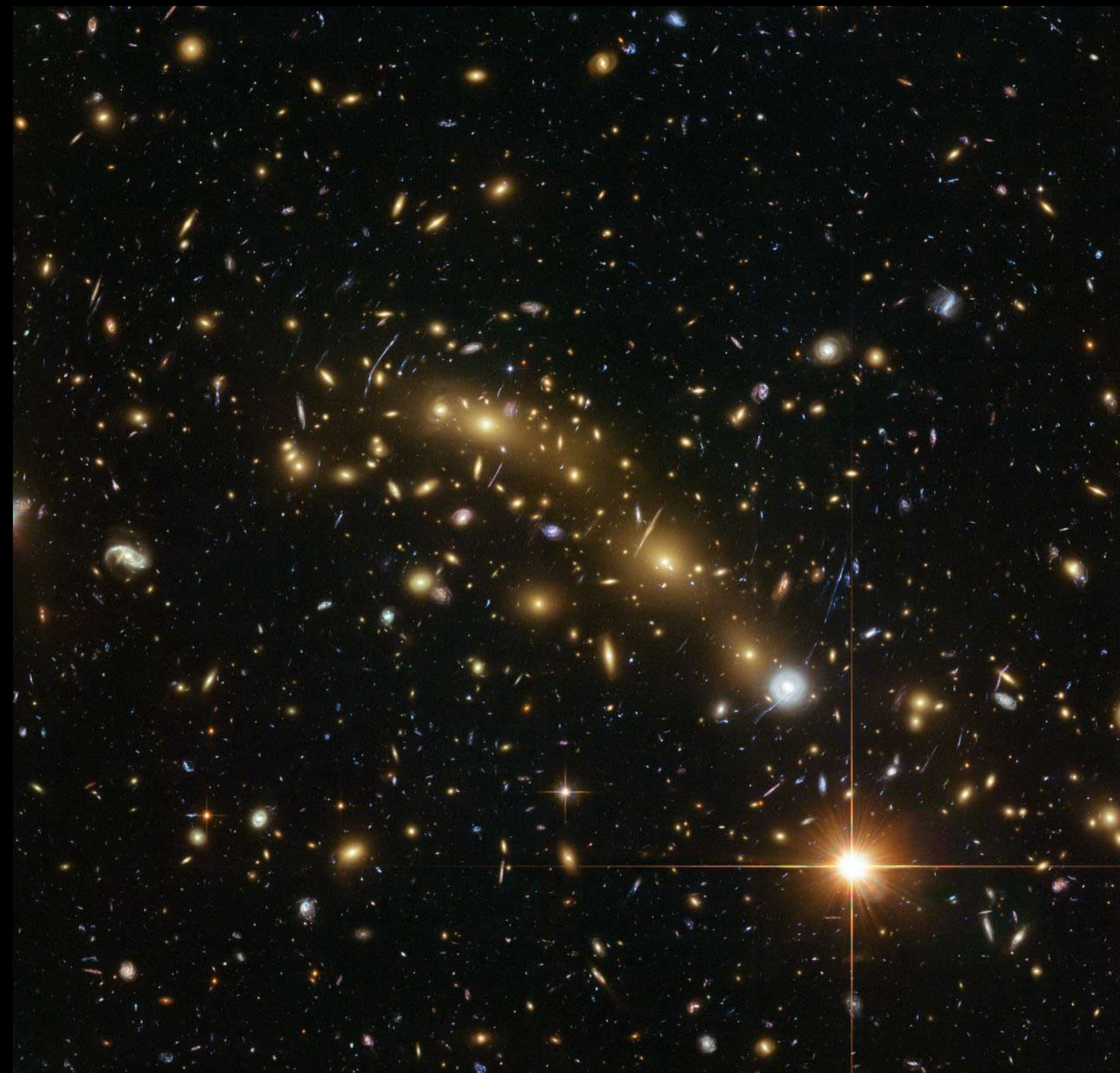
Halo de matière noire  
(invisible)



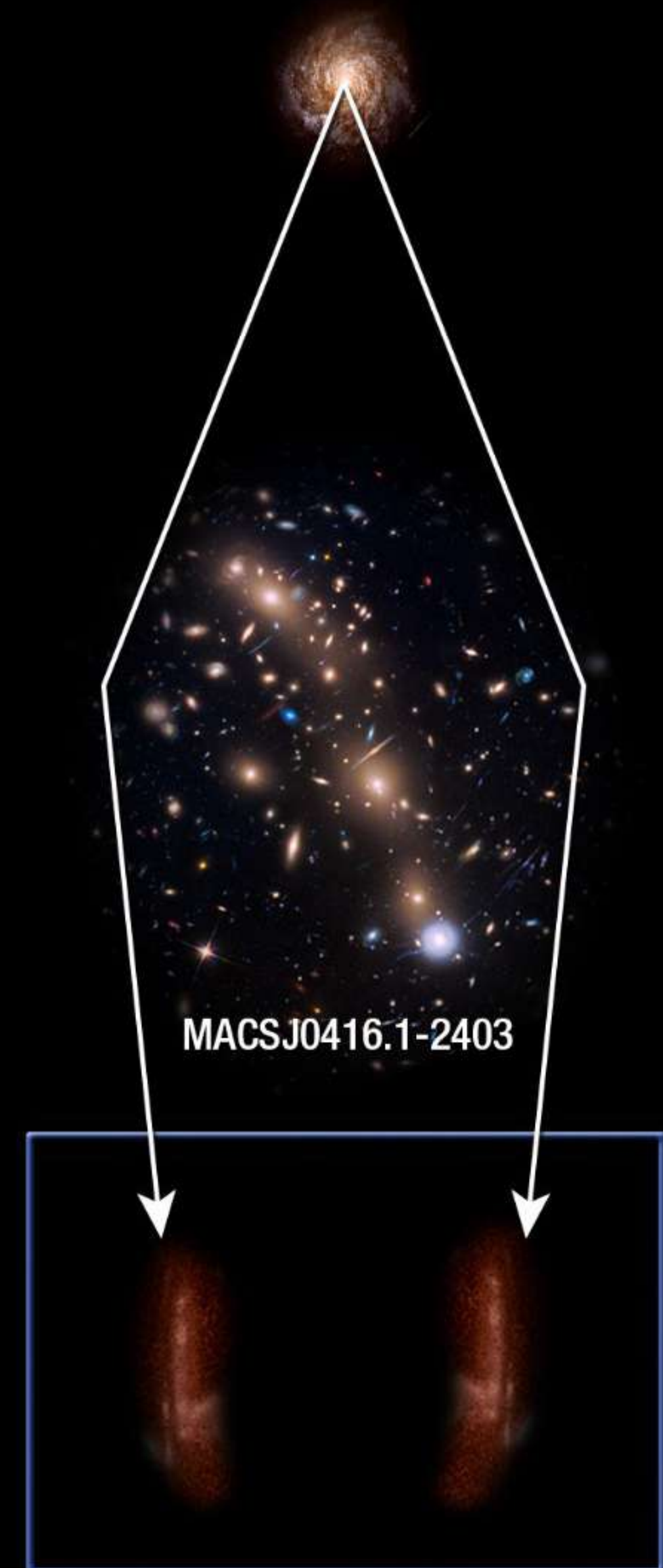
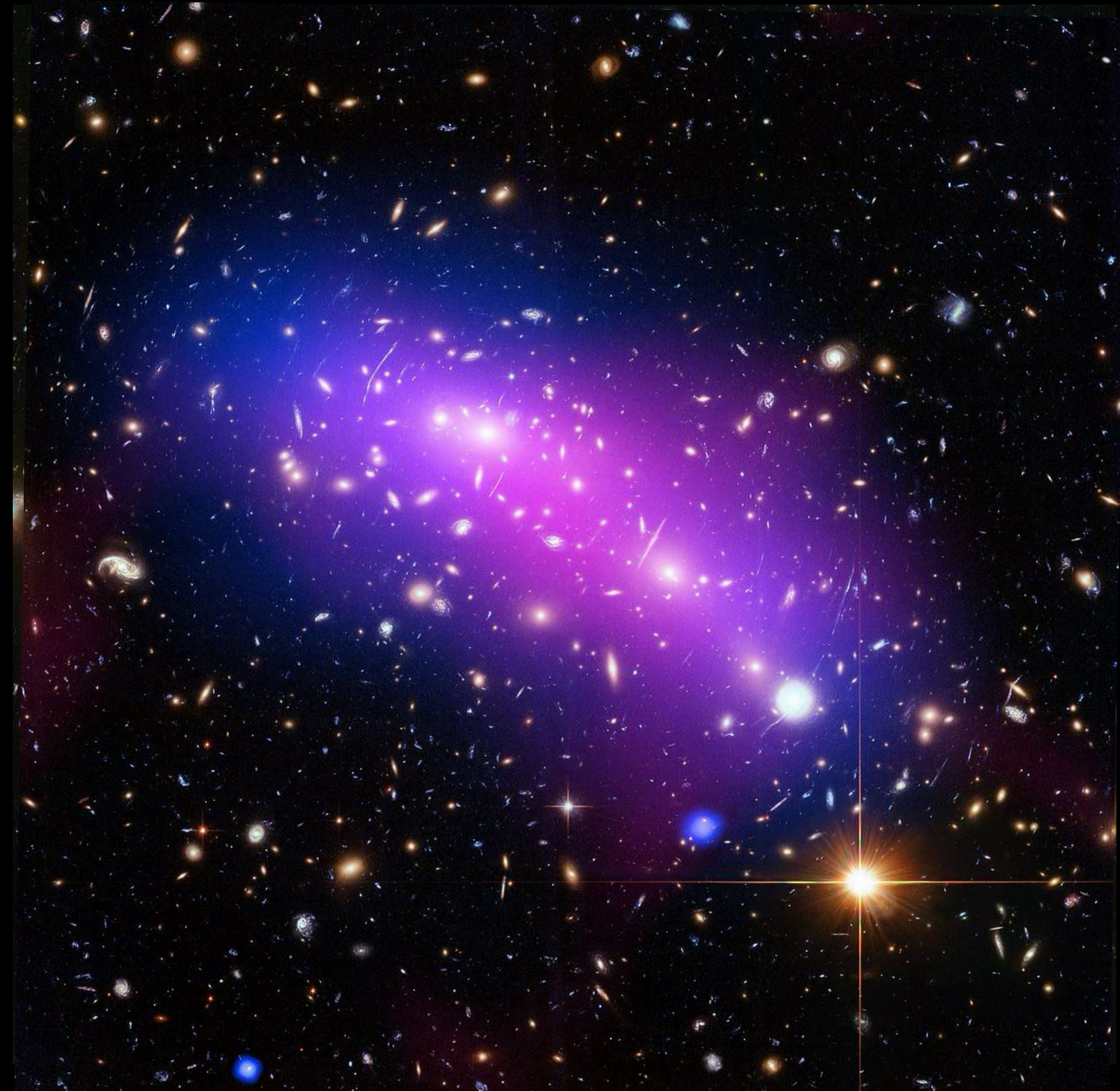
Galaxie  
(visible)



# La matière noire



# La matière noire



# Simulation numérique d'un univers



40 millions d'années lumière

# Simulation numérique d'un univers



40 millions d'années lumière

# Simulation numérique d'un univers



40 millions d'années lumière

# Les mystères de l'Univers

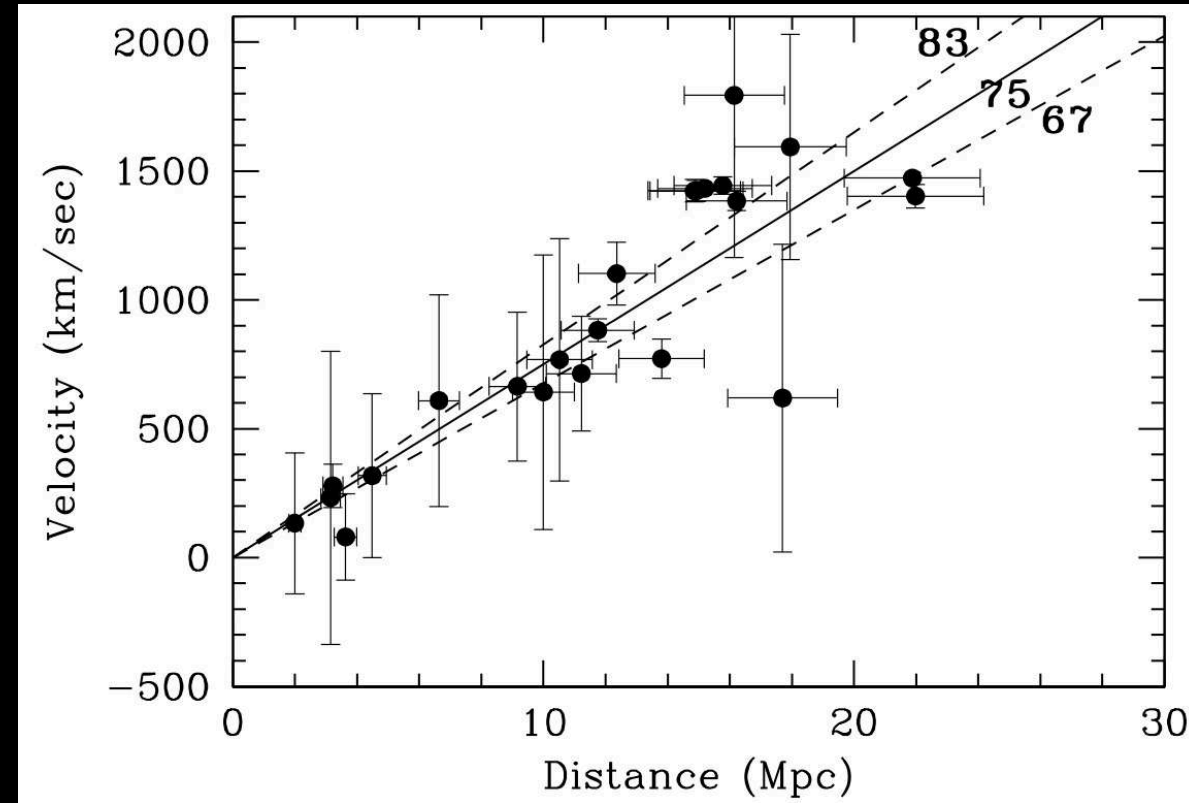
Quelle est la nature de la Matière Noire?

Qu'est l'énergie Noire?

Et les trous noirs dans tout ça?

# L'expansion accélérée de l'Univers

1929

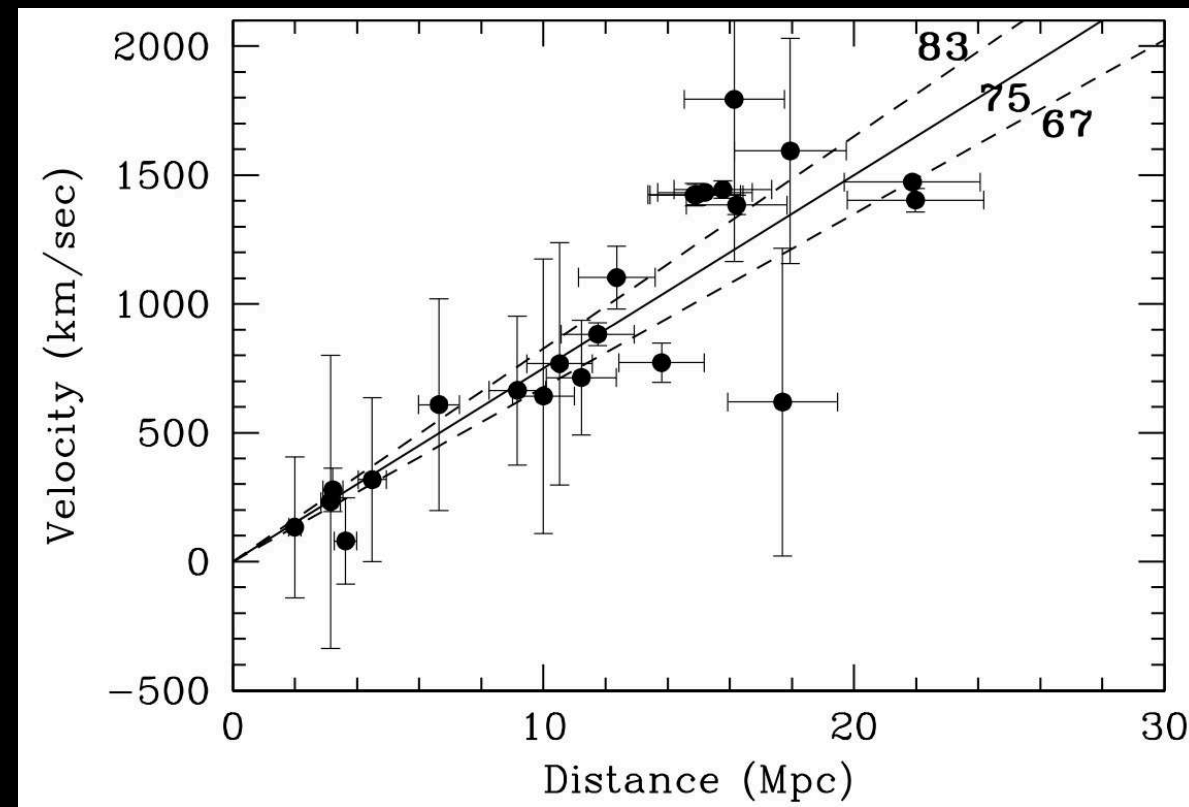


Distance (Mpc)

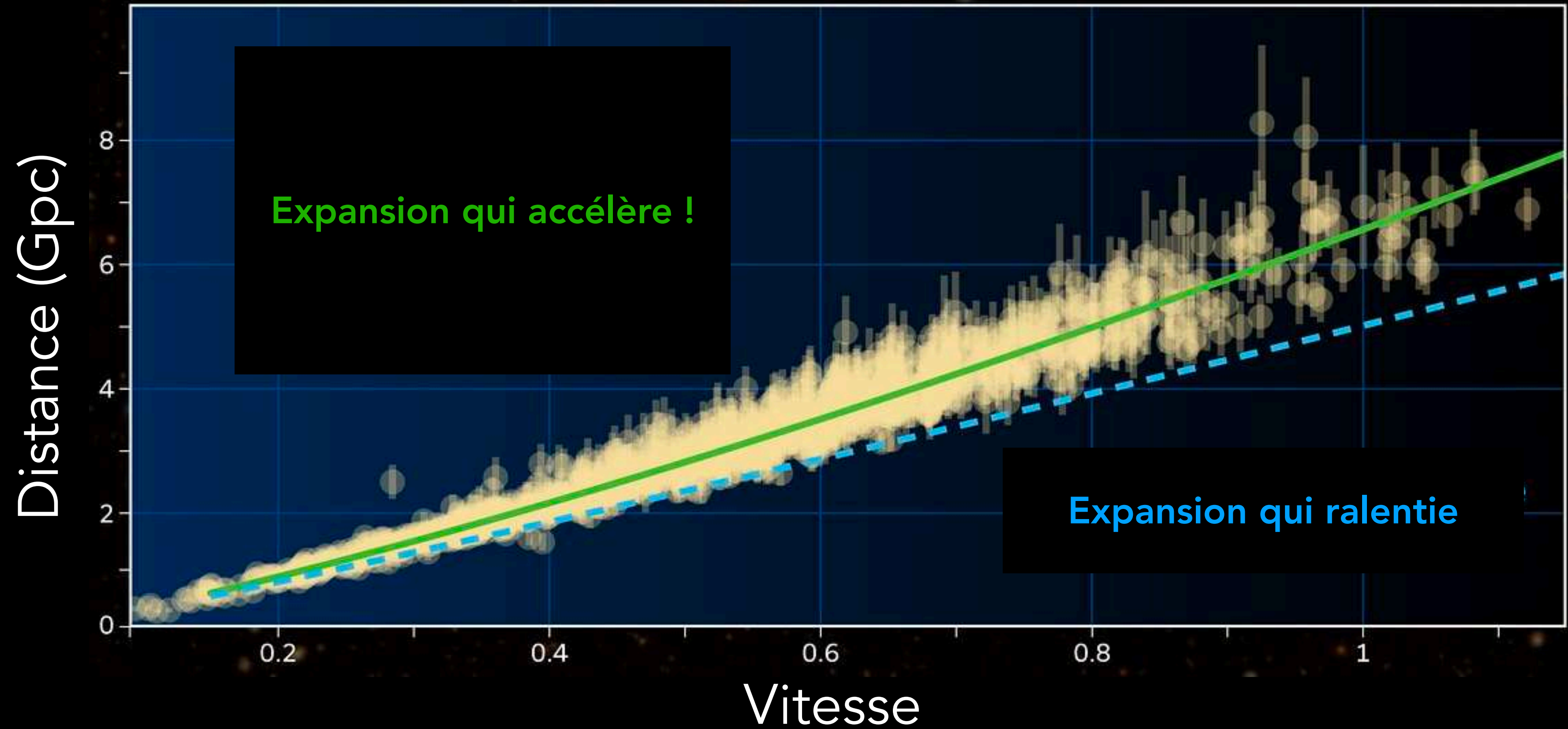
Vitesse

# L'expansion accélérée de l'Univers

1929



2023



Vitesse

Distance (Mpc)

Distance (Gpc)

Vitesse

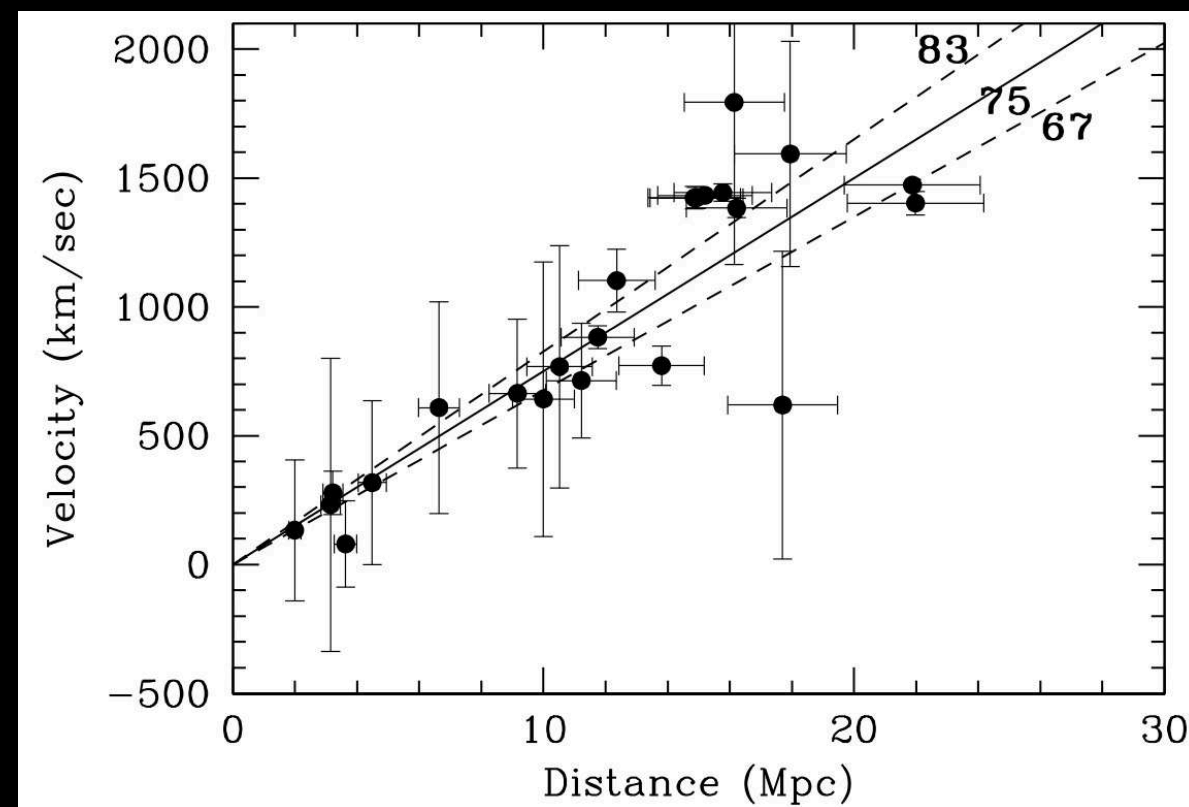
Expansion qui ralentie

Expansion qui accélère !

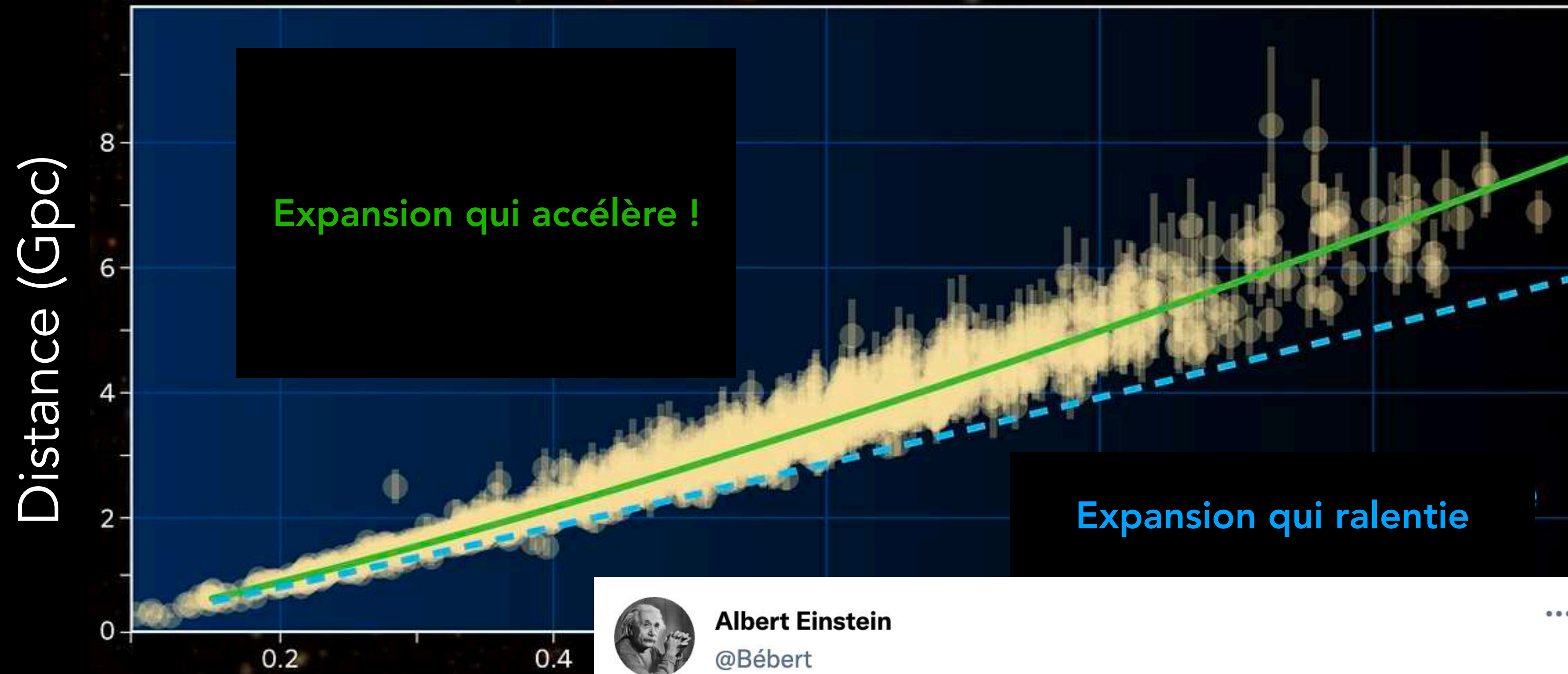


# L'expansion accélérée de l'Univers

1929



2023



Distance (Mpc)

Distance (Gpc)



Albert Einstein

@Bébert

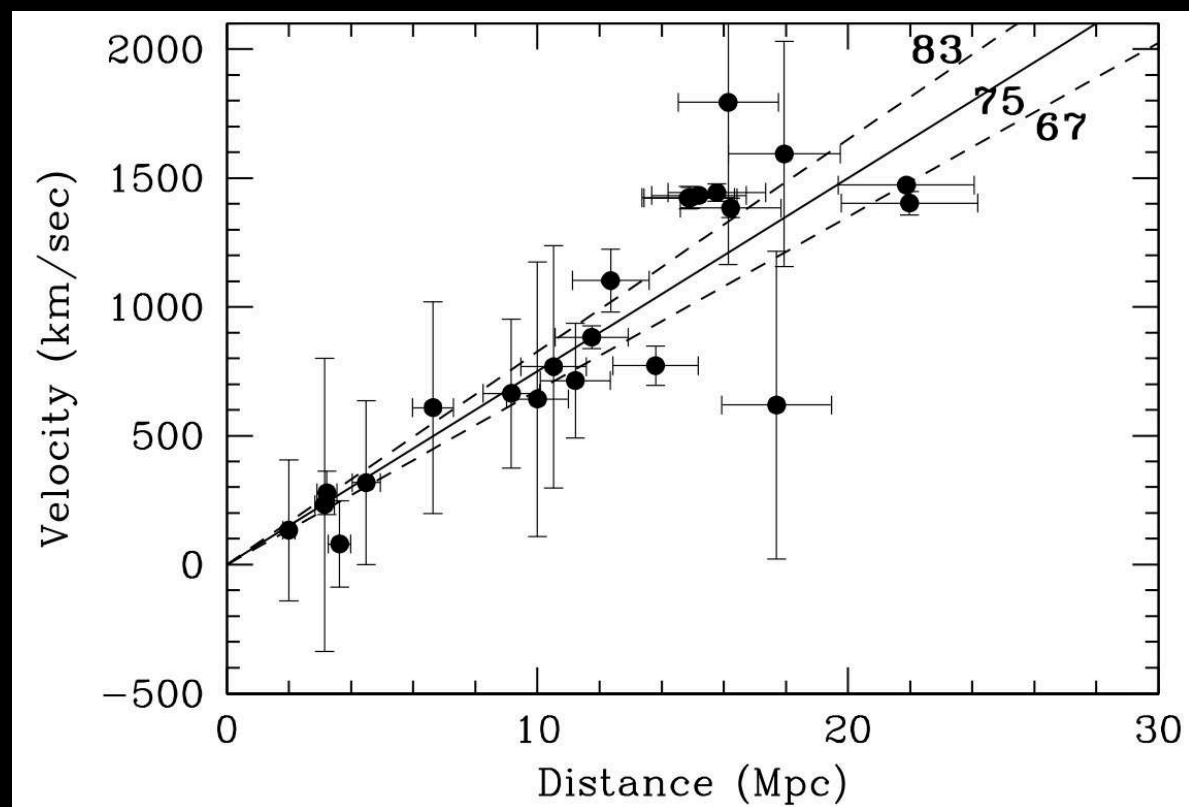
Celle la, on l'avait pas vu venir!

12:00 PM · Jul 3, 1997



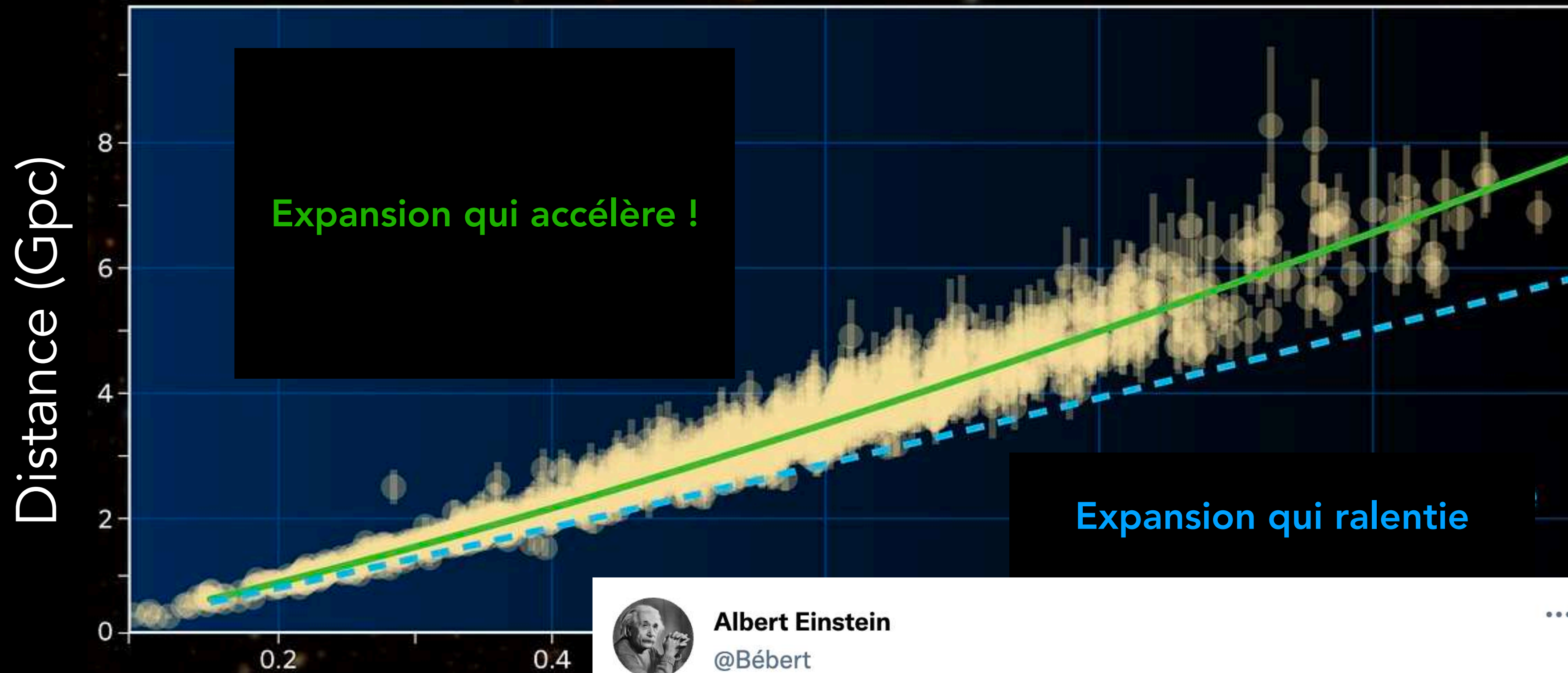
# L'expansion accélérée de l'Univers

1929



Distance (Mpc)

2023



## Energie noire ?

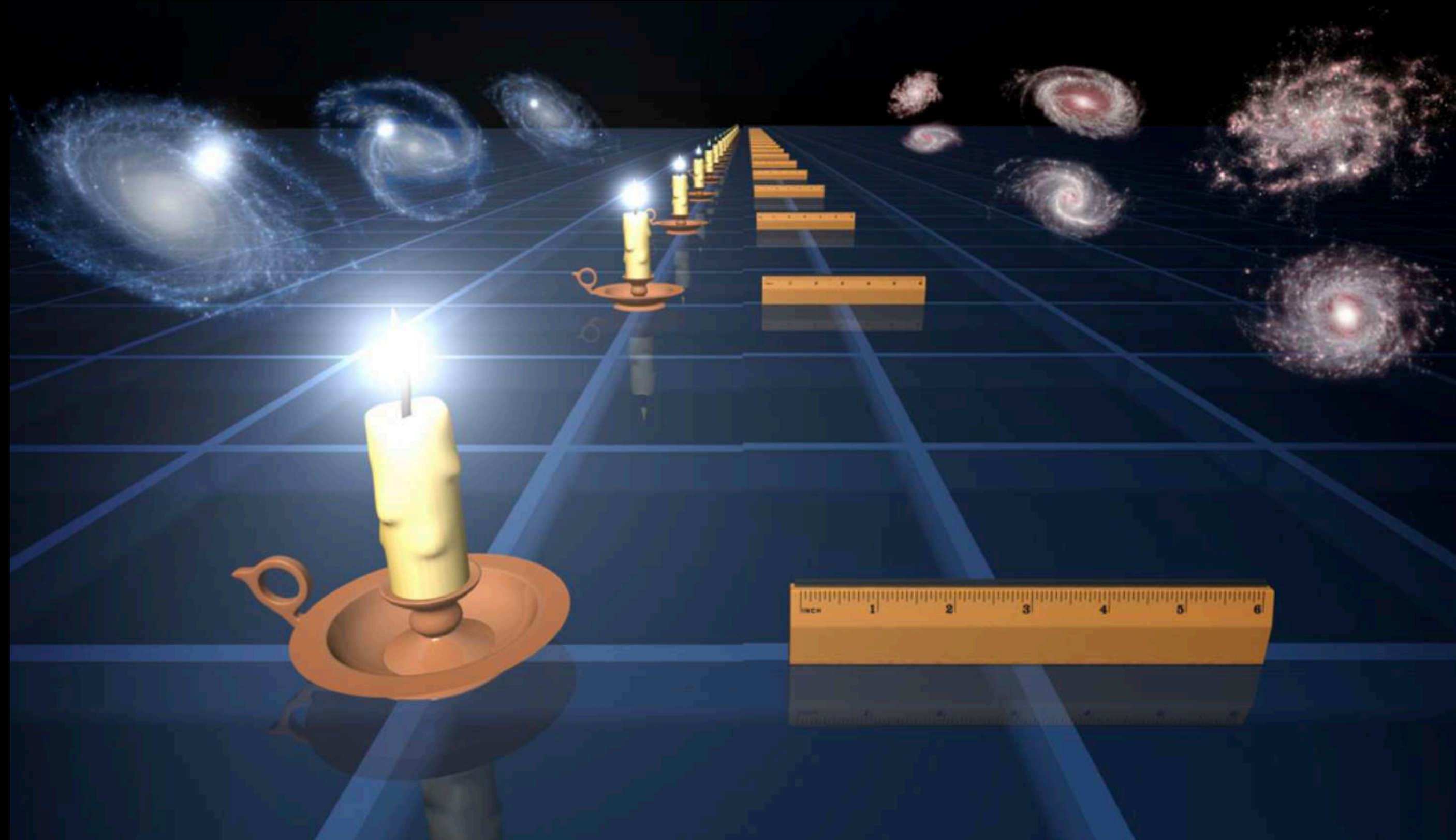
 **Albert Einstein**  
@Bébert

Celle la, on l'avait pas vu venir!

12:00 PM · Jul 3, 1997

# Comment mesurer l'expansion ?

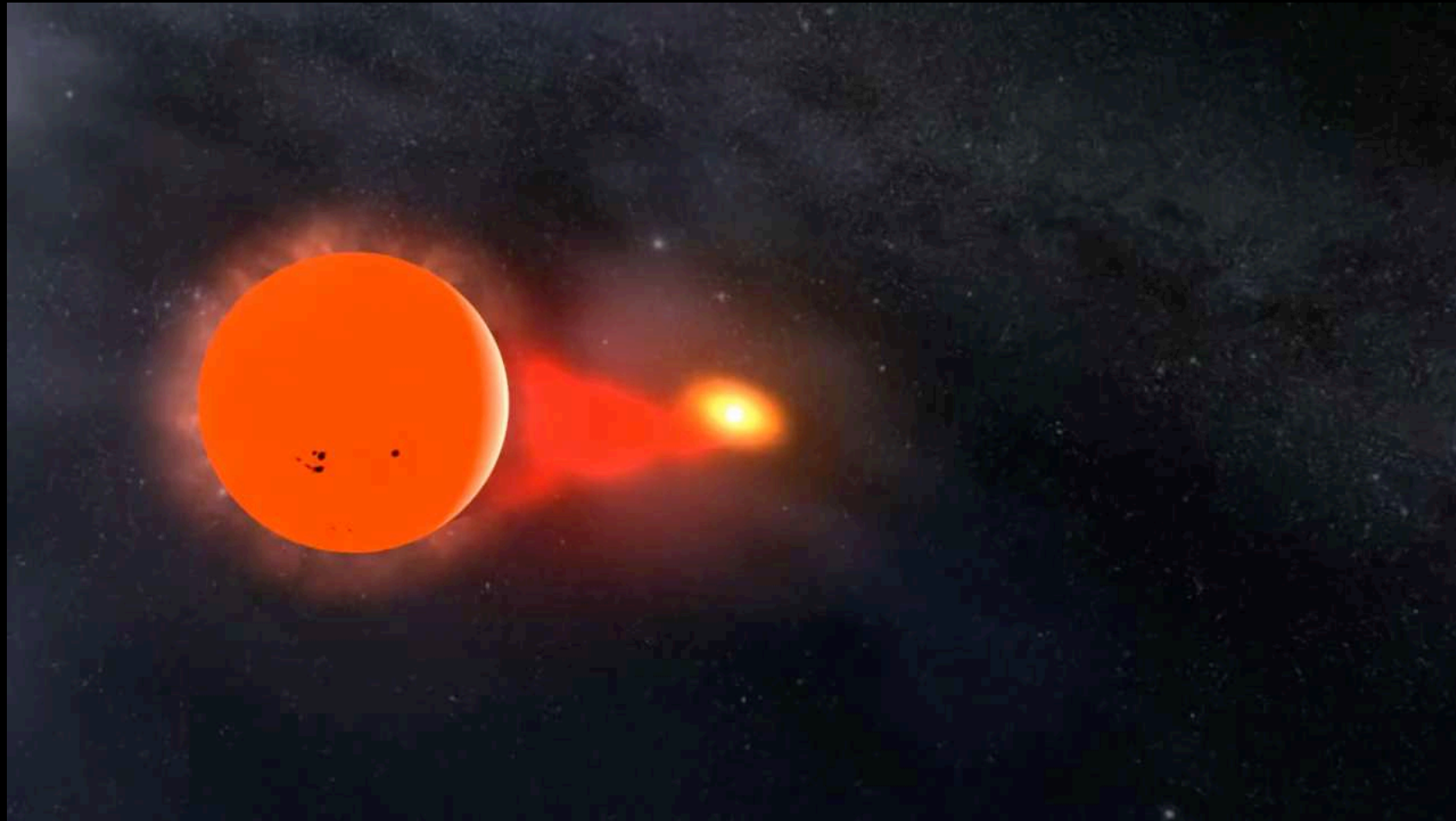


Supernovae  
Chandelles standard

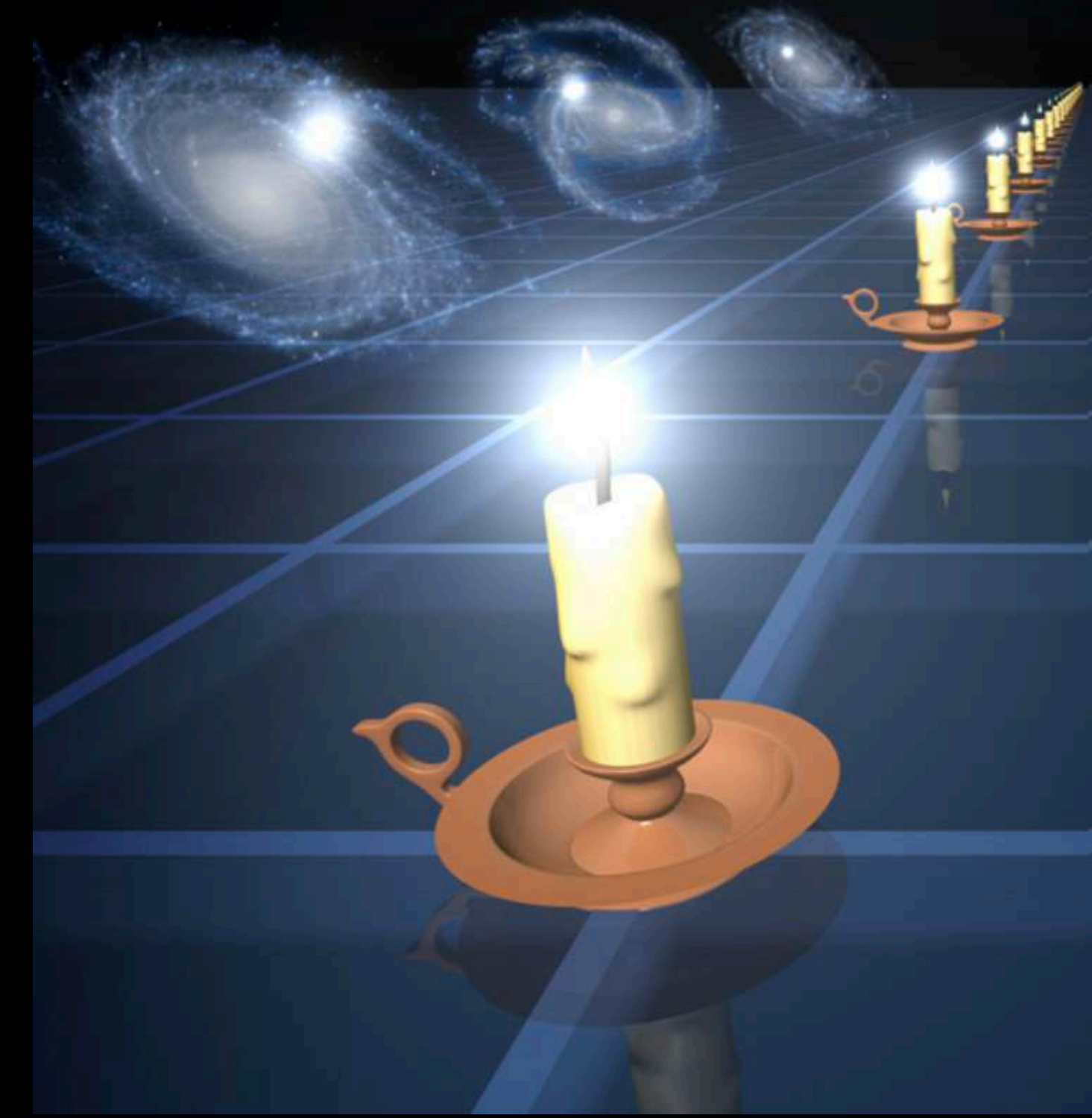
Règle cosmique

# Comment mesurer l'expansion ?

Théorie



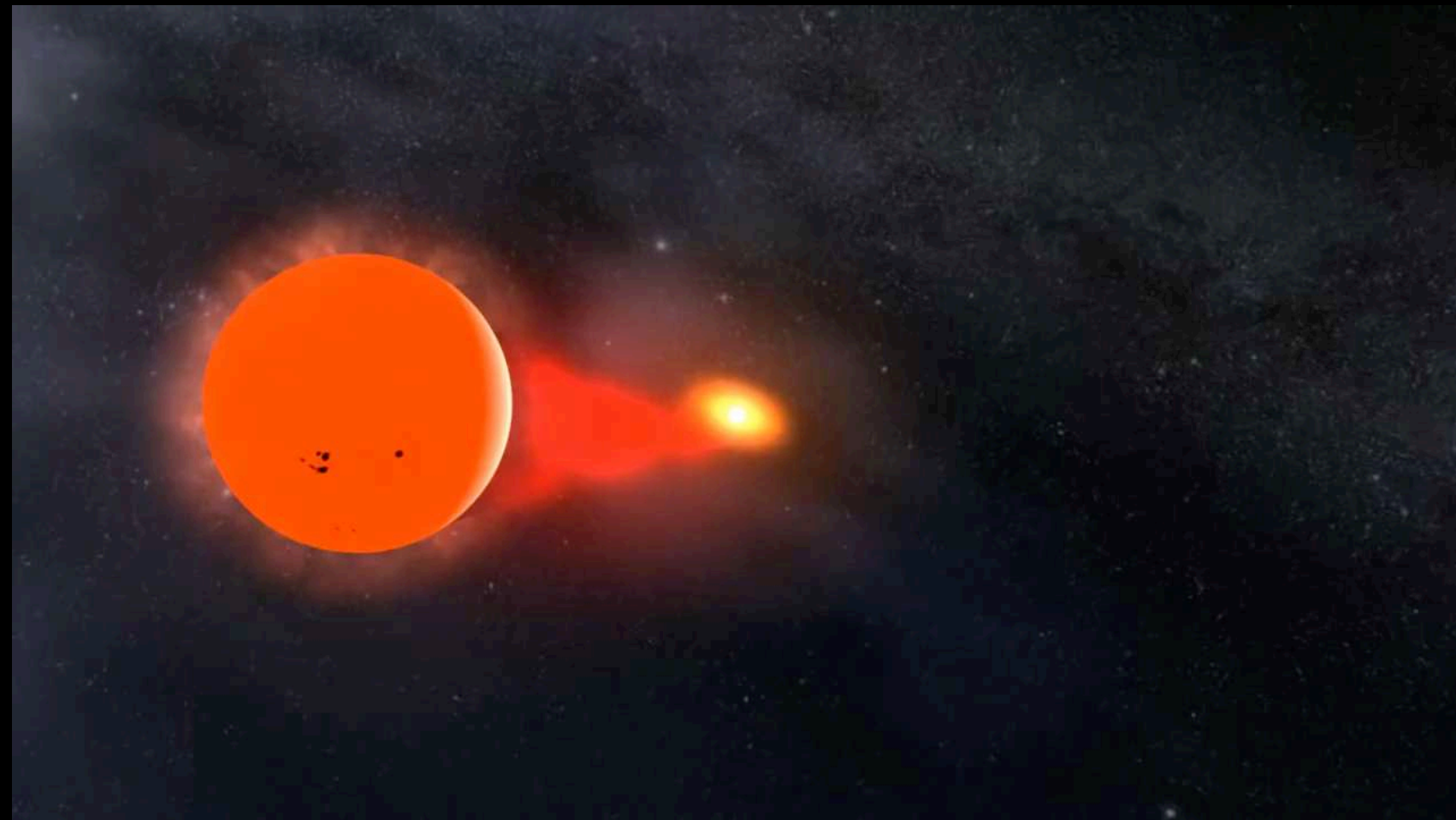
Observation



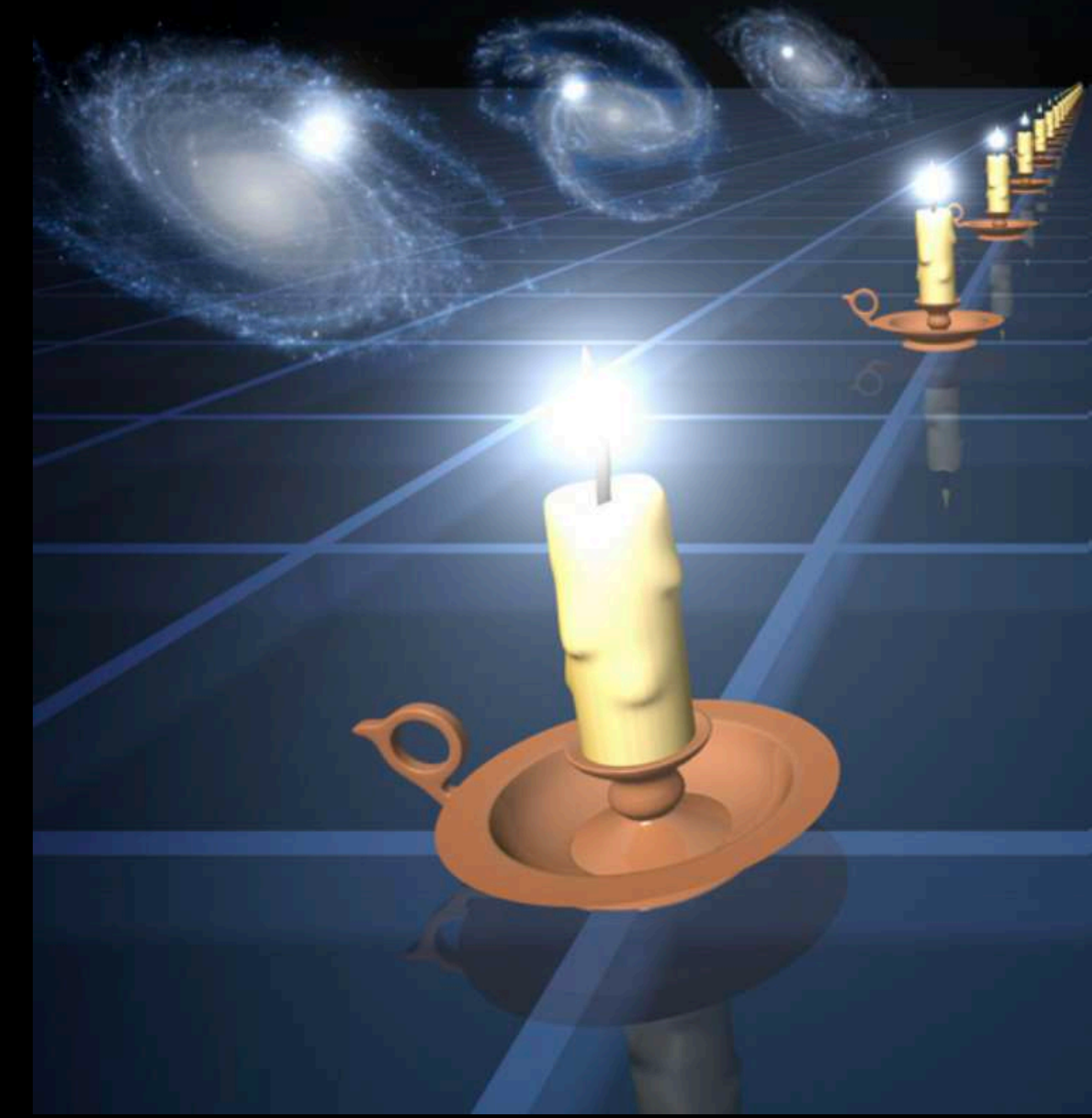
Supernovae  
Chandelles standard

# Comment mesurer l'expansion ?

Théorie



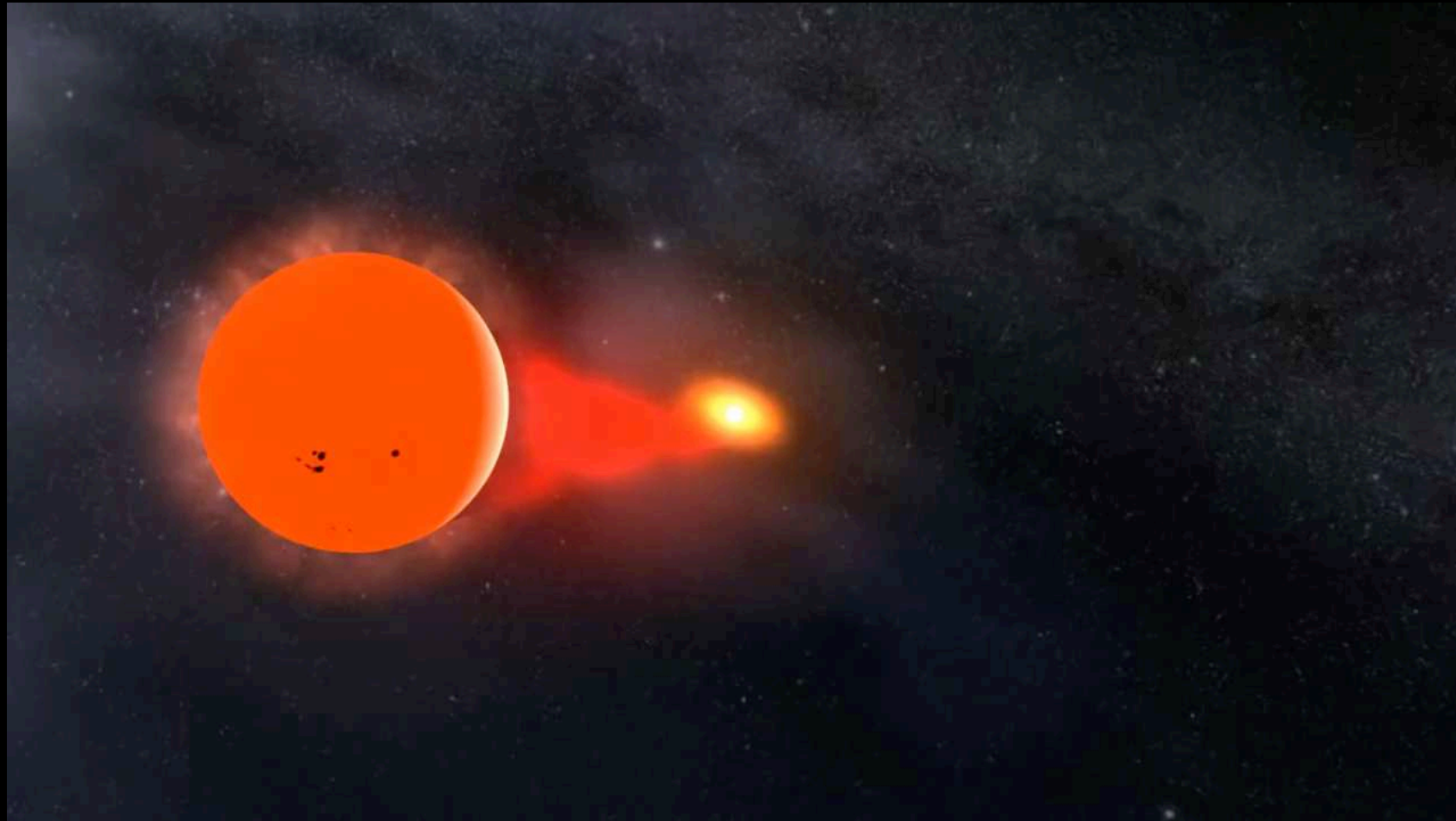
Observation



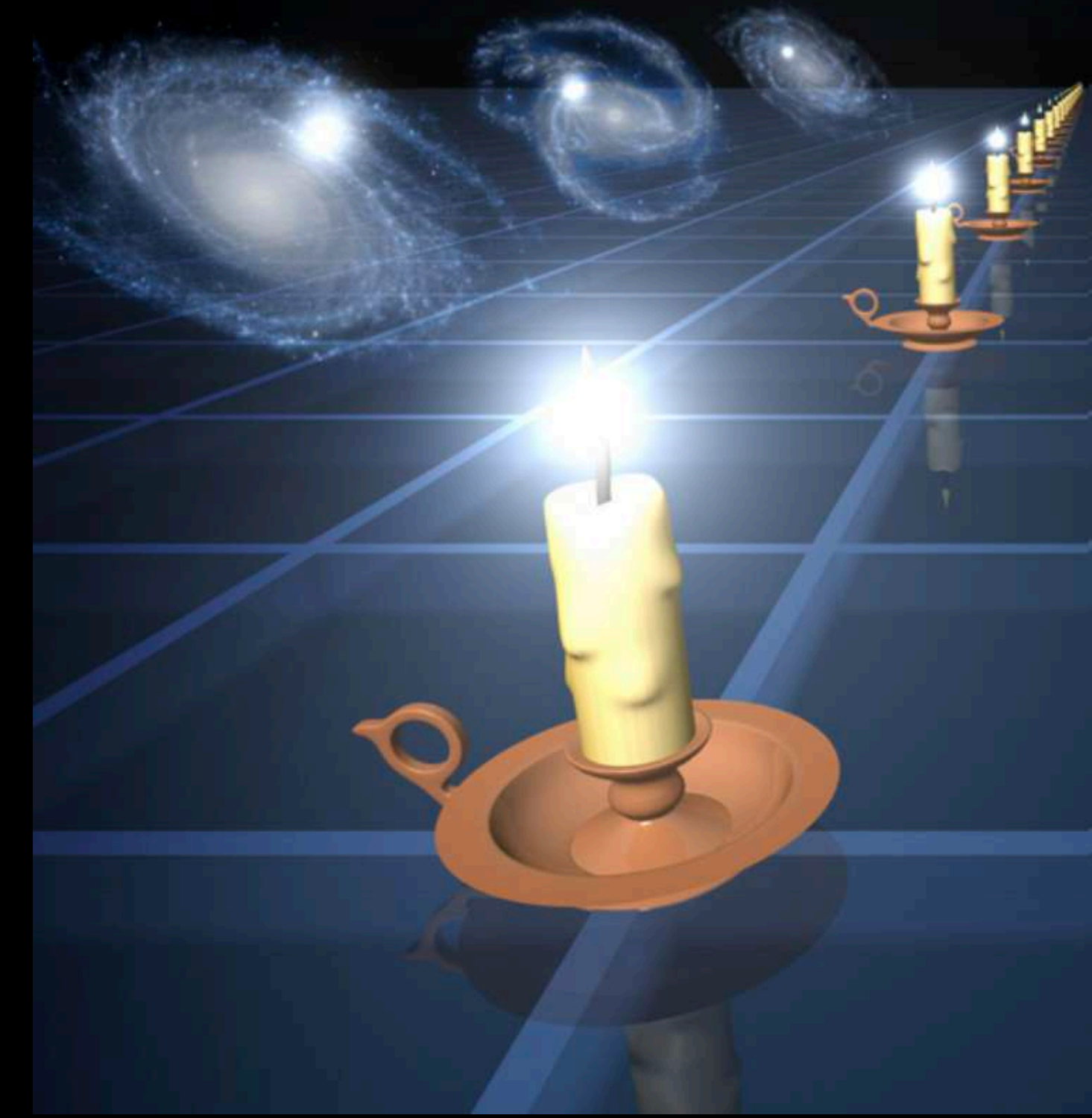
Supernovae  
Chandelles standard

# Comment mesurer l'expansion ?

Théorie



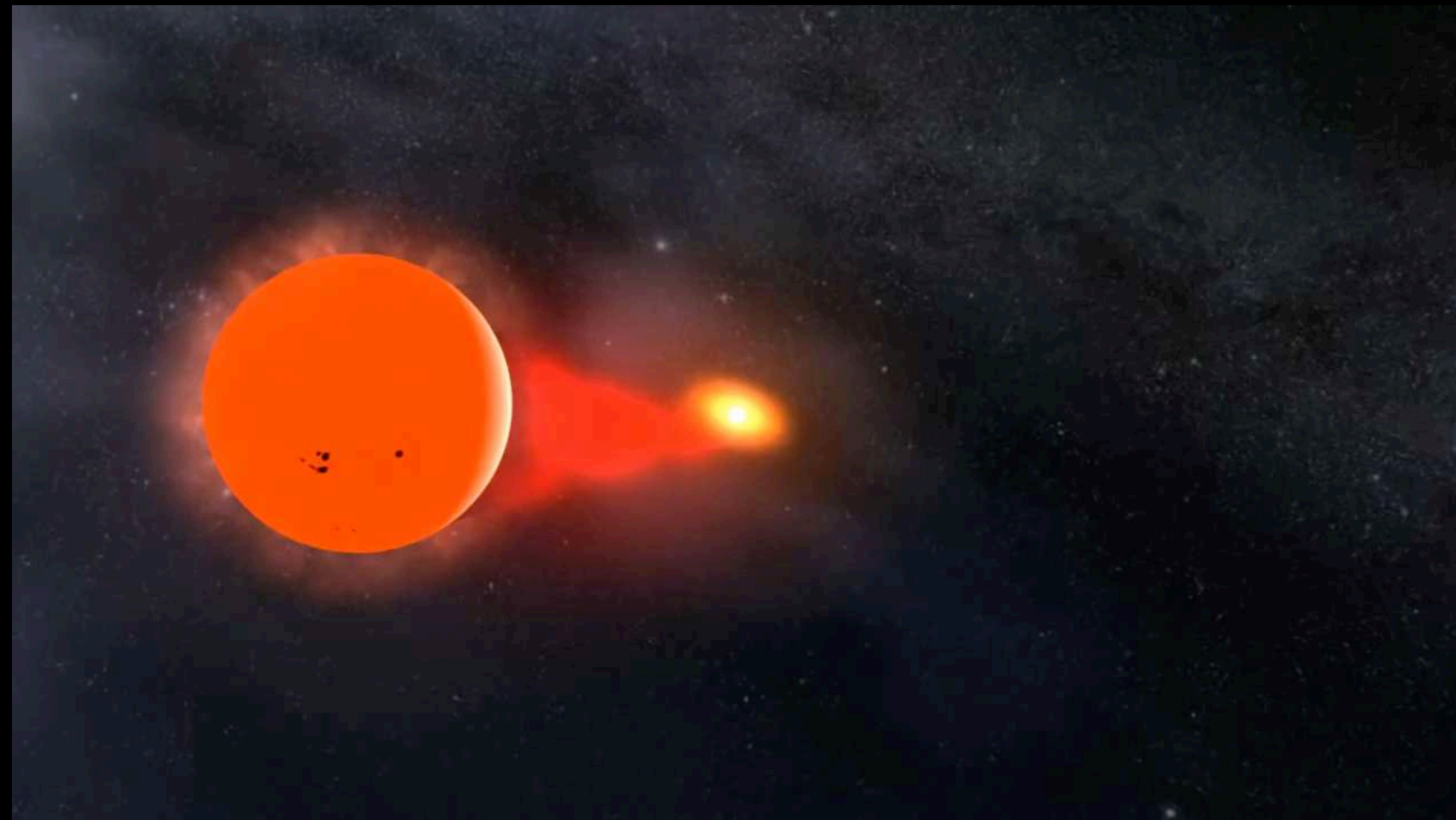
Observation



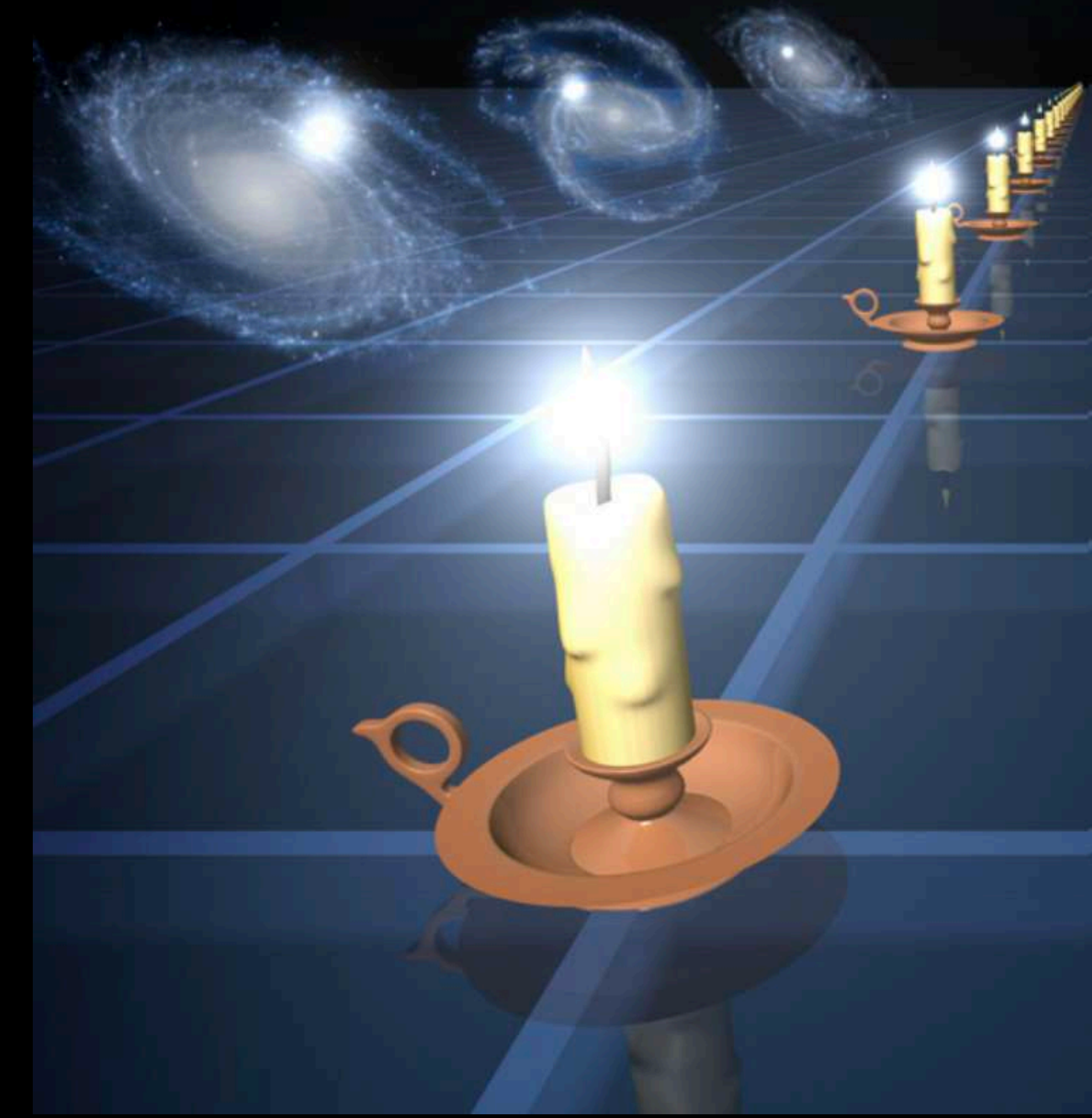
Supernovae  
Chandelles standard

# Comment mesurer l'expansion ?

Théorie



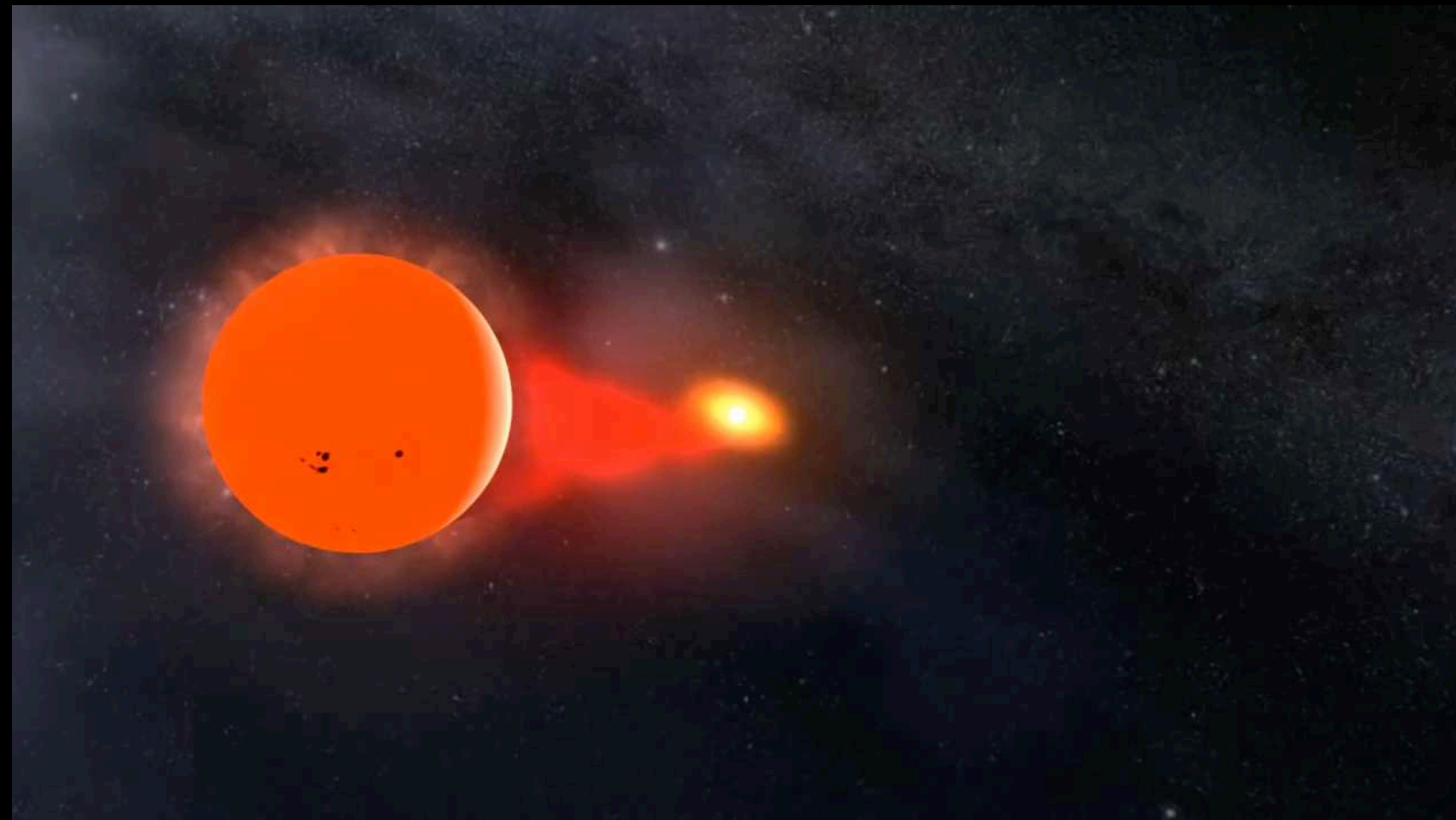
Observation



Supernovae  
Chandelles standard

# Comment mesurer l'expansion ?

Théorie



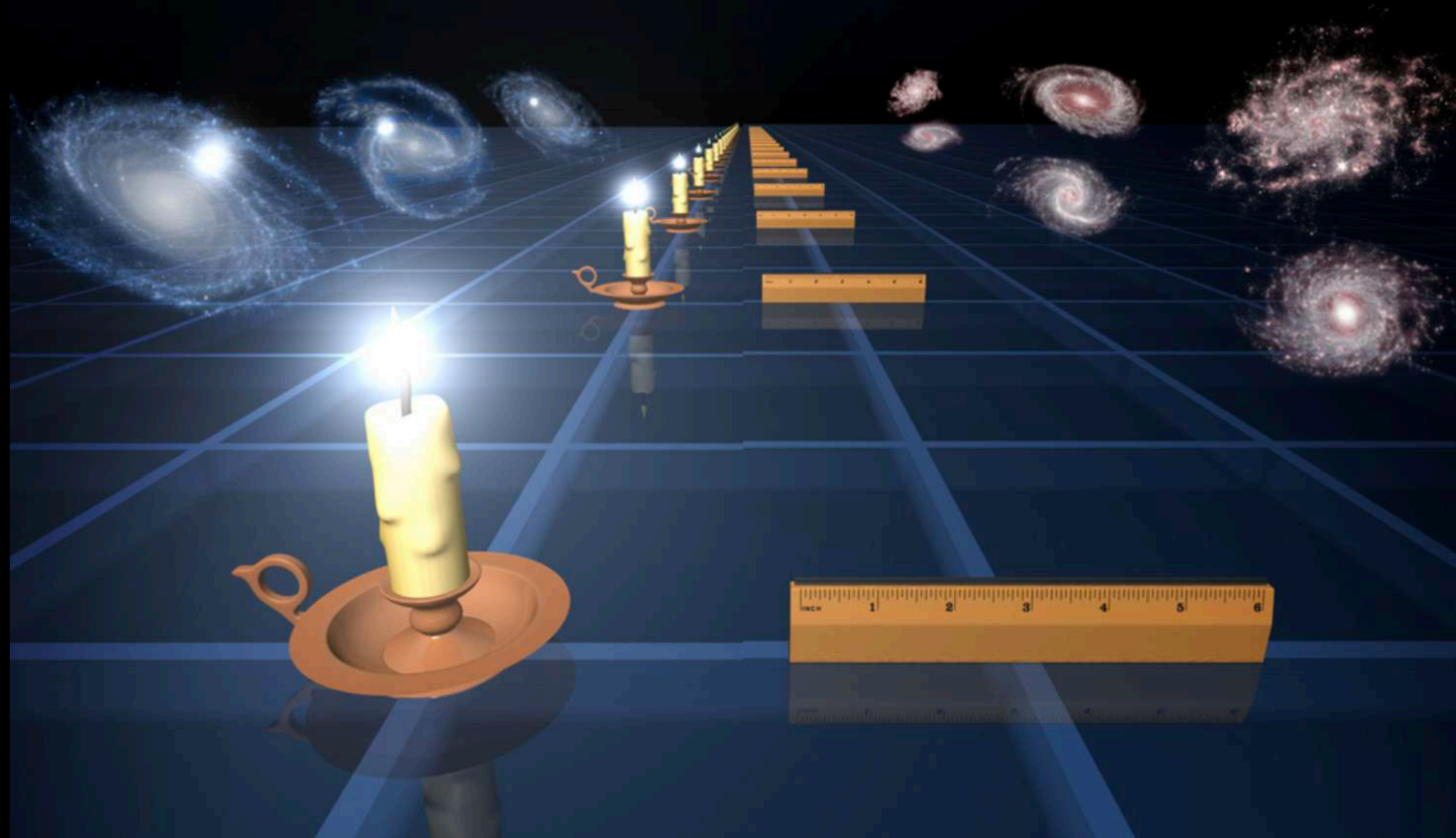
Observation



Supernovae  
Chandelles standard



# Comment mesurer l'expansion ?

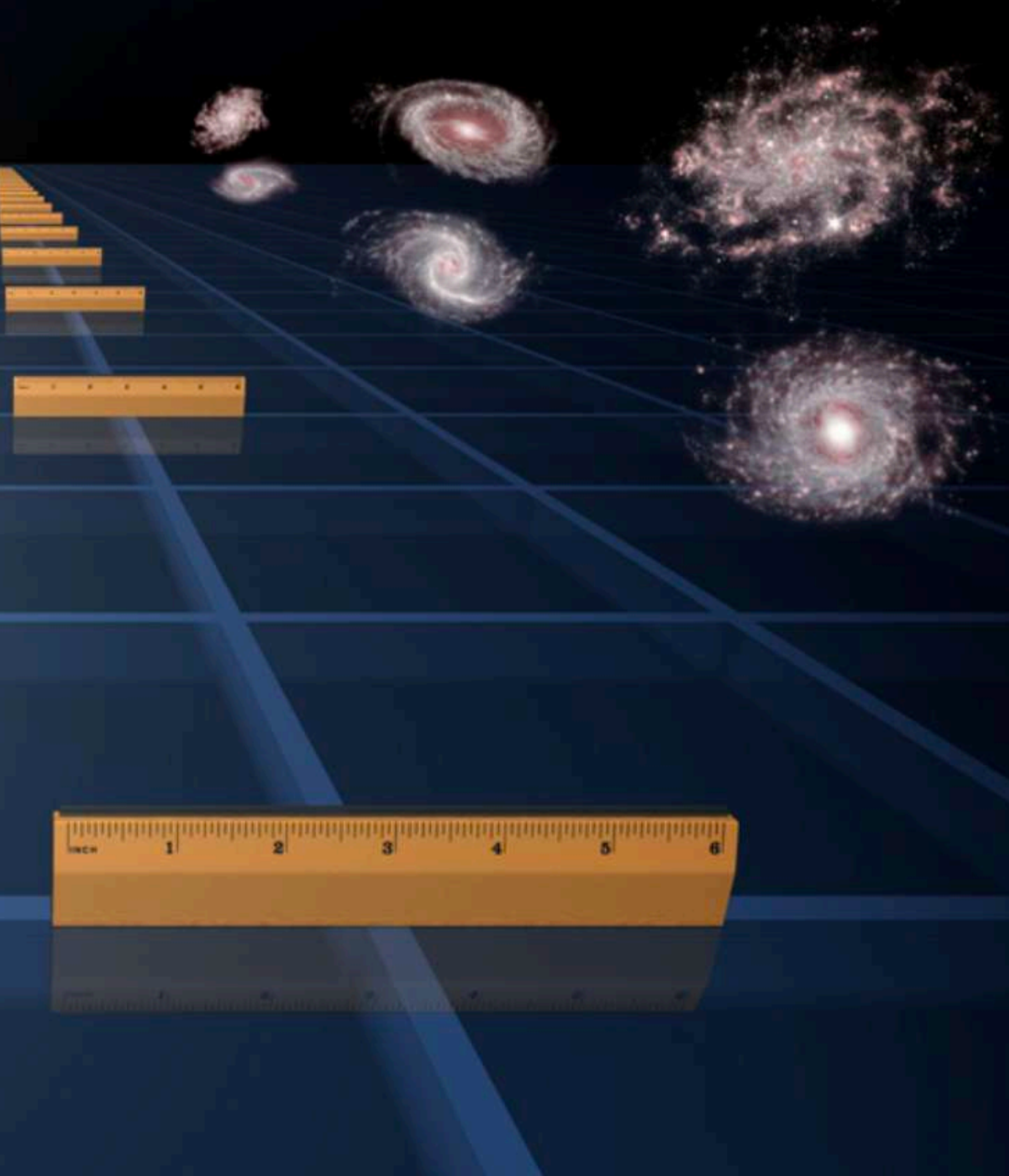


Supernovae  
Chandelles standard

Règle cosmique

# Comment mesurer l'expansion ?

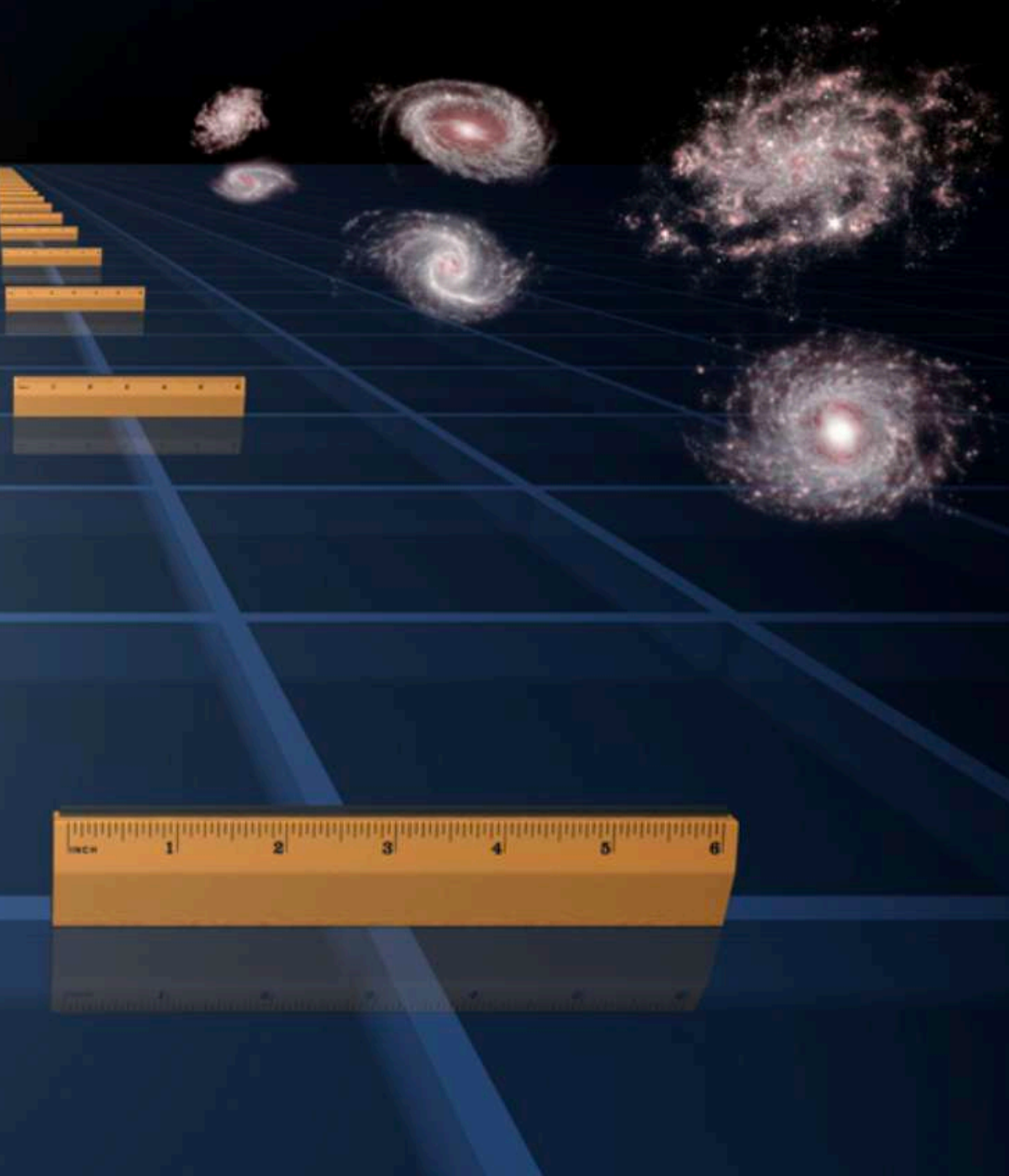
Vagues dans le plasma primordial



Règle cosmique

# Comment mesurer l'expansion ?

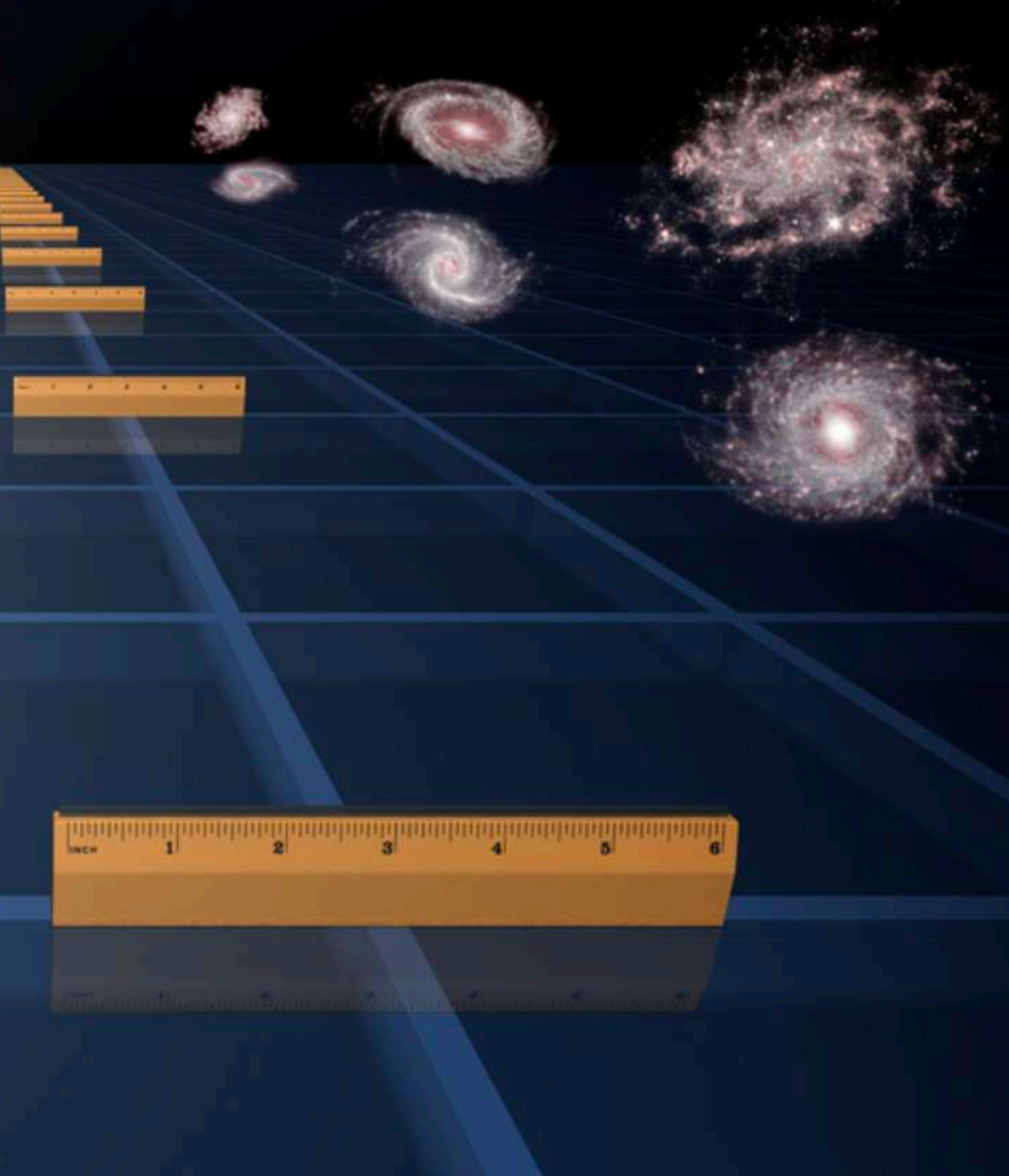
Vagues dans le plasma primordial



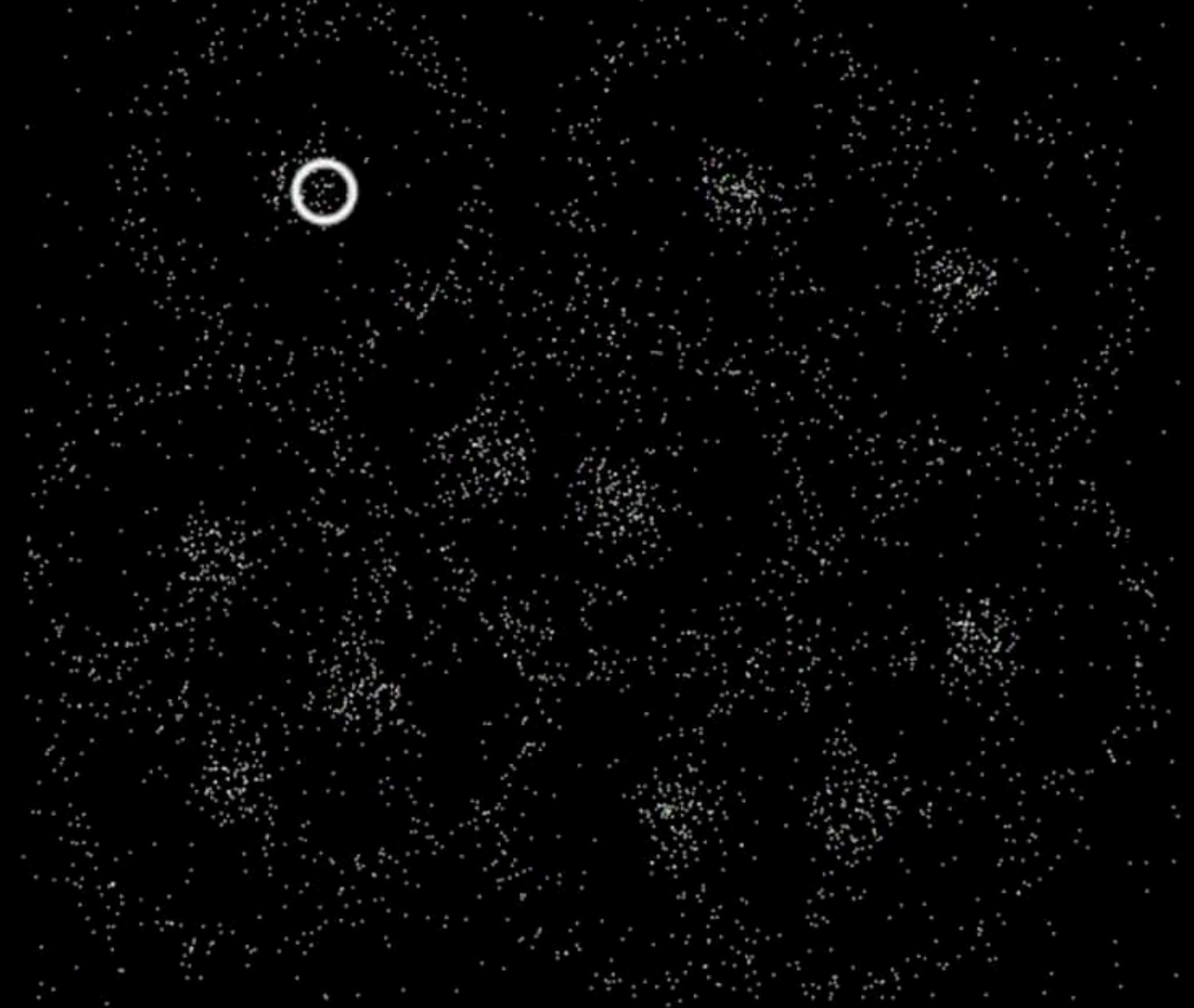
Règle cosmique

# Comment mesurer l'expansion ?

Vagues dans le plasma primordial

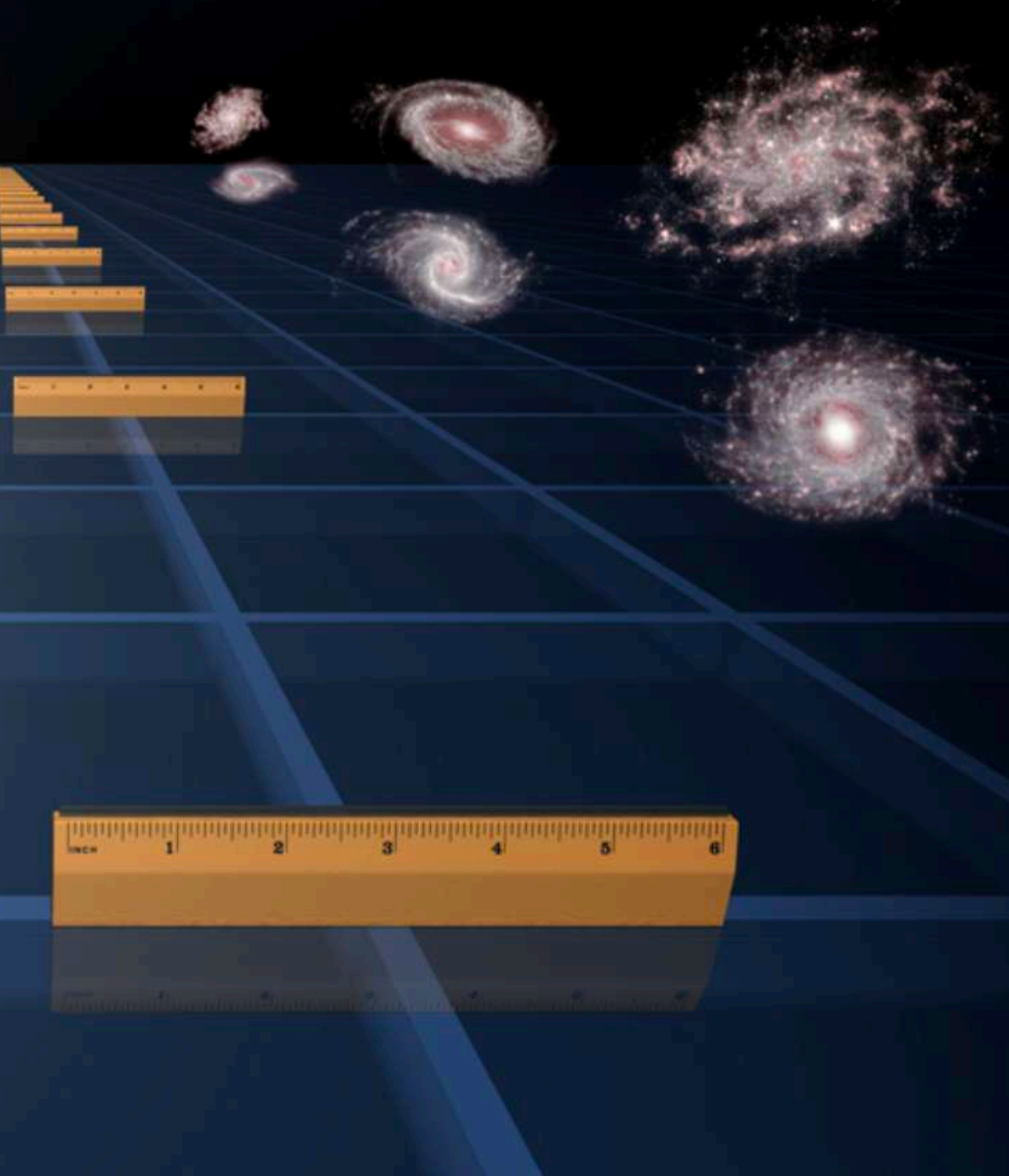


Règle cosmique

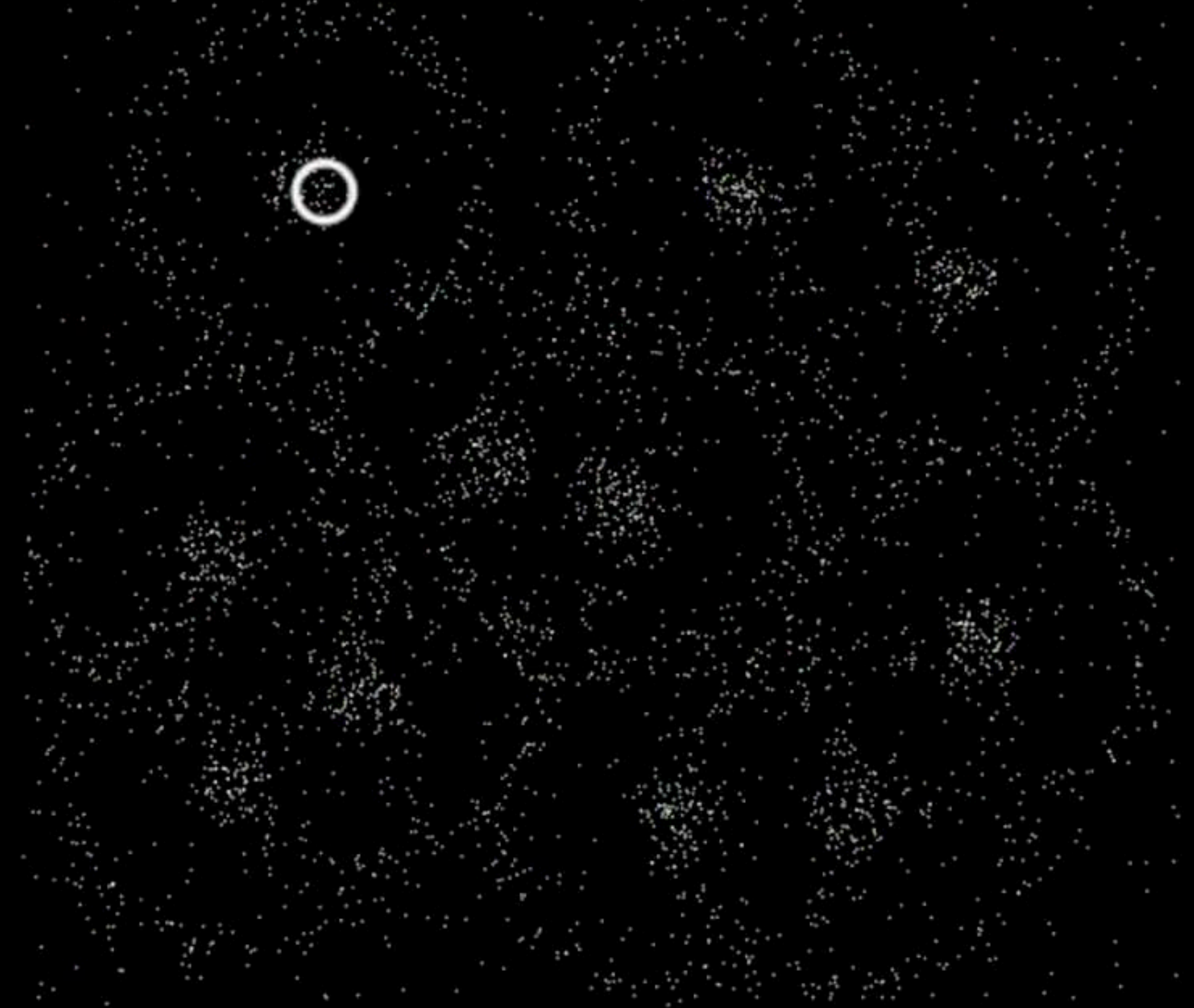


# Comment mesurer l'expansion ?

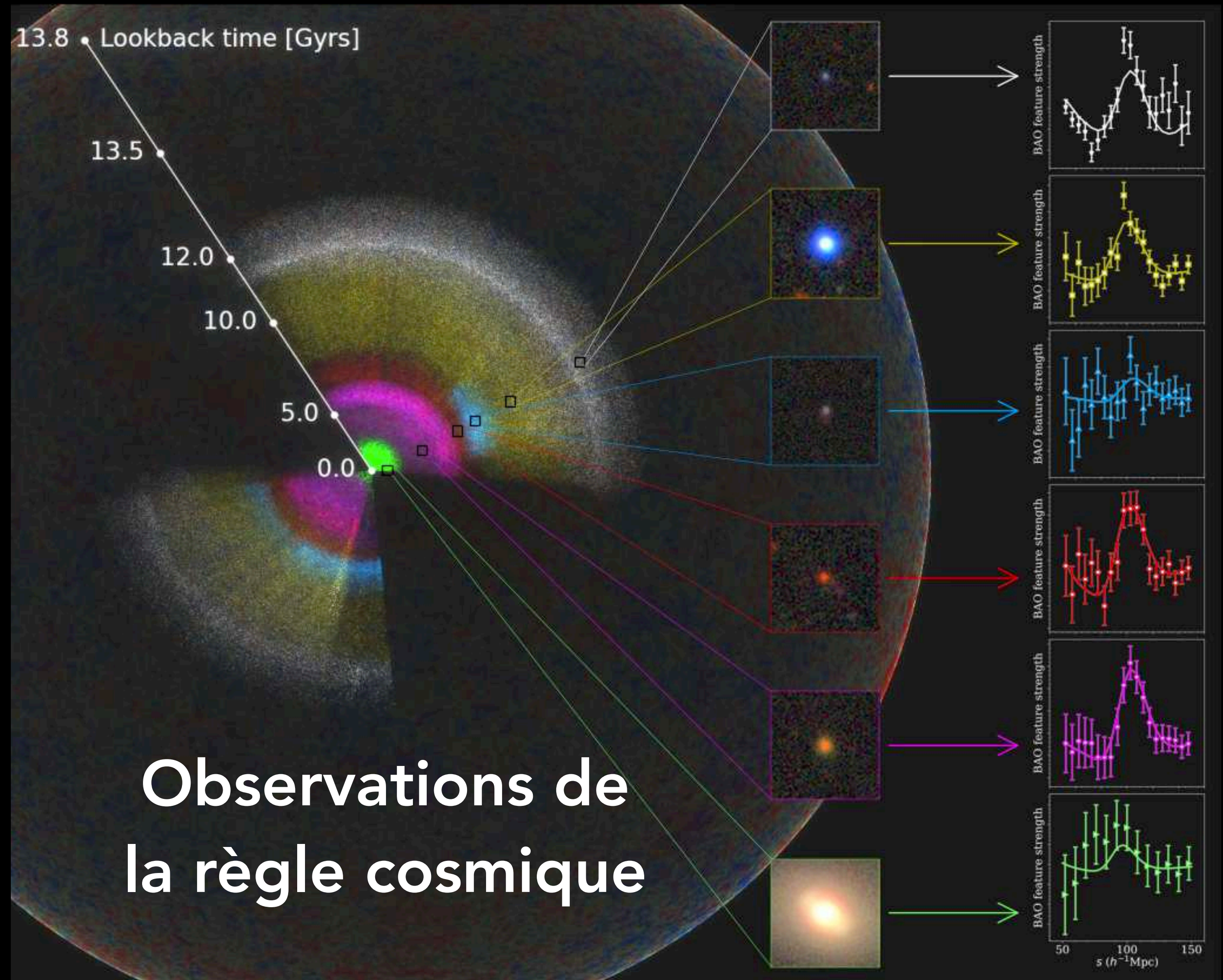
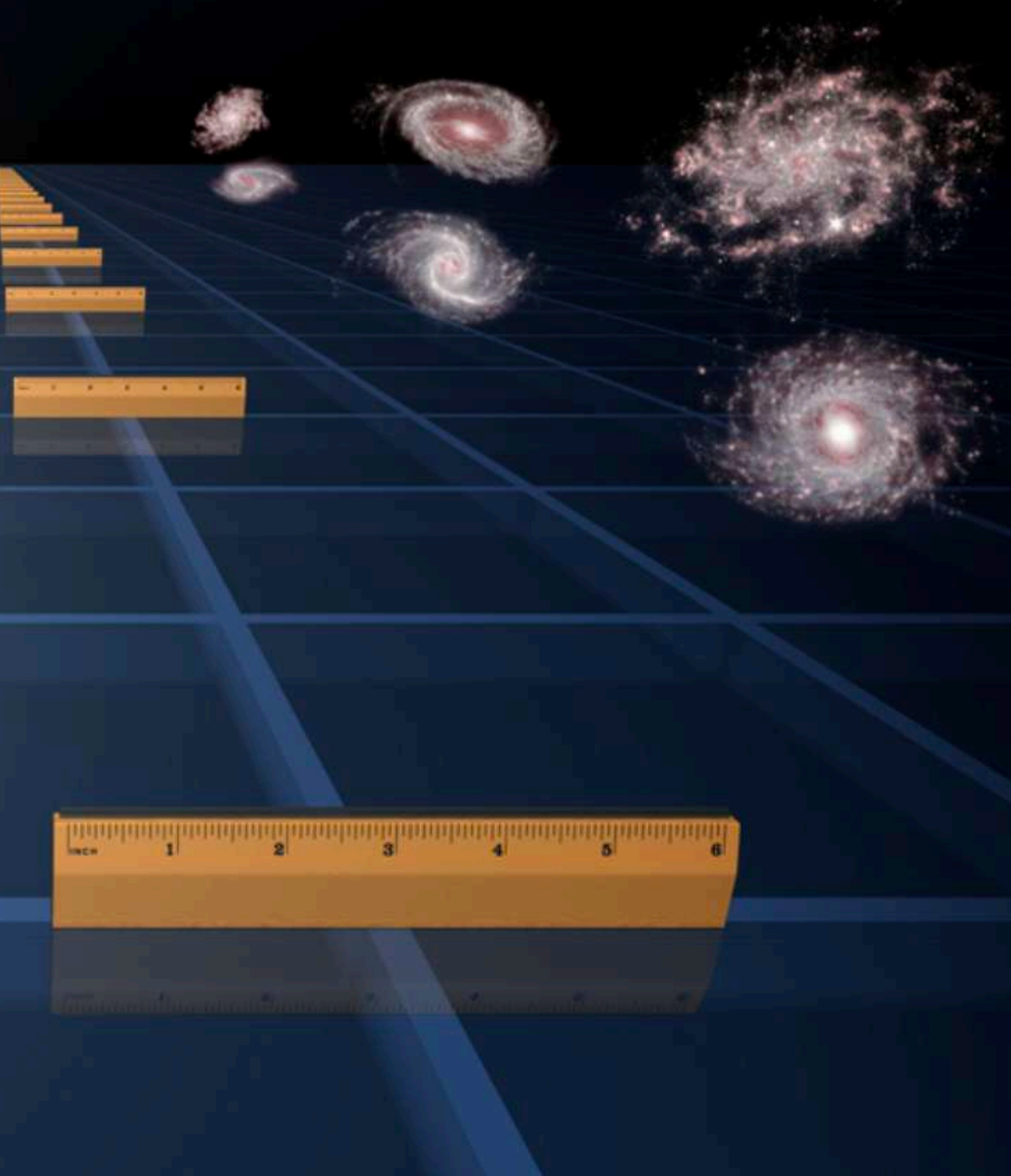
Vagues dans le plasma primordial



Règle cosmique



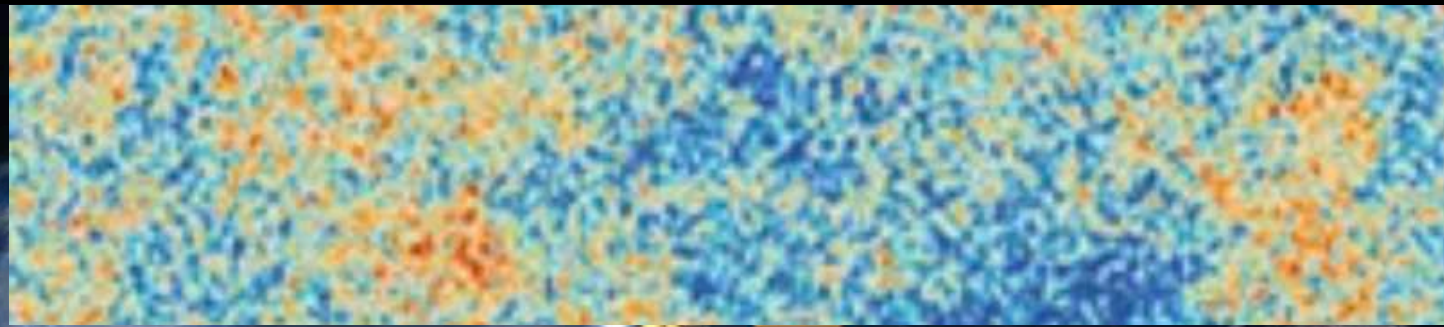
# Comment mesurer l'expansion ?



Règle cosmique

# Comment mesurer l'expansion ?

Fond diffus  
cosmologique



Observation

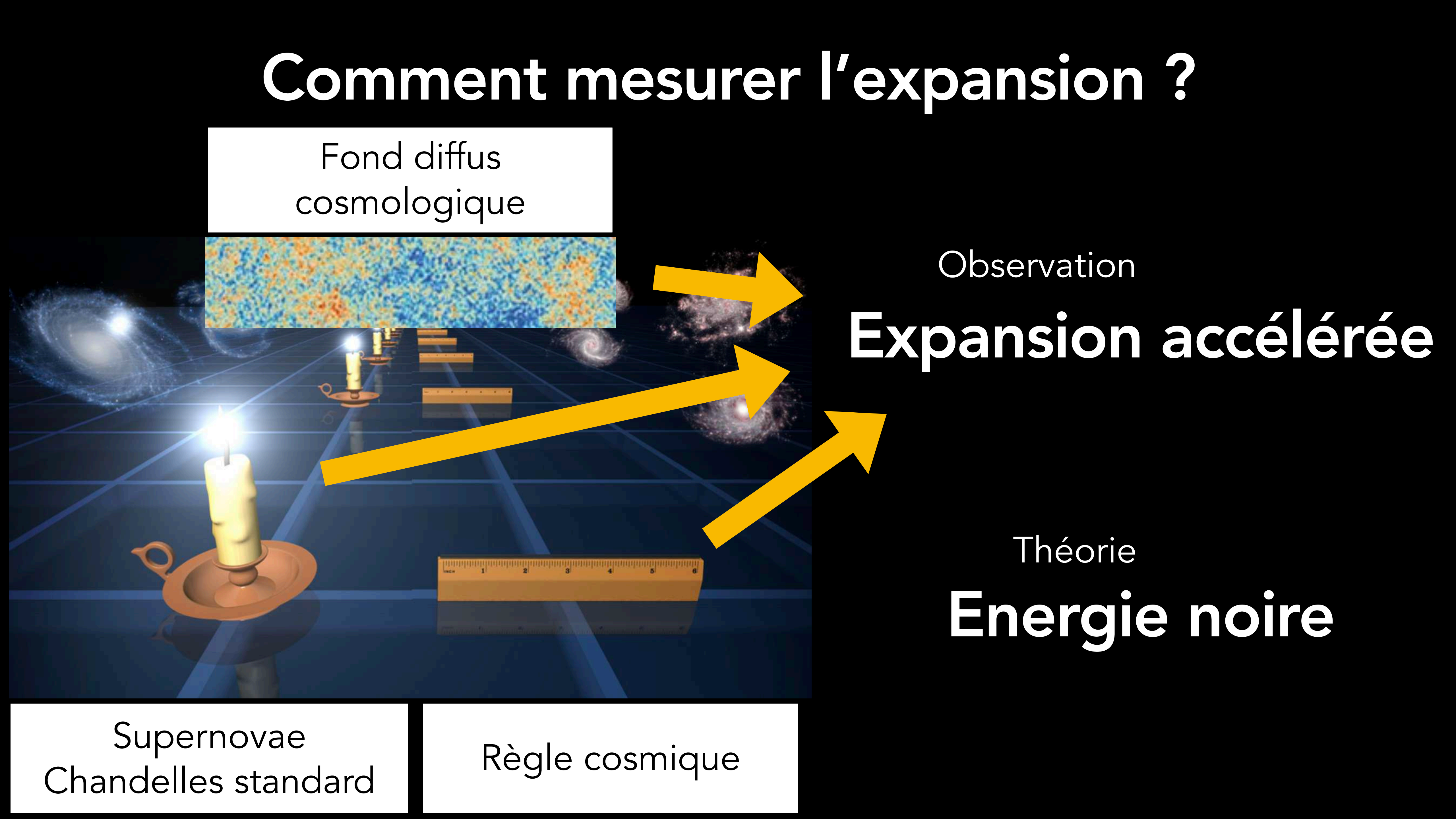
**Expansion accélérée**

Théorie

**Energie noire**

Supernovae  
Chandelles standard

Règle cosmique



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'

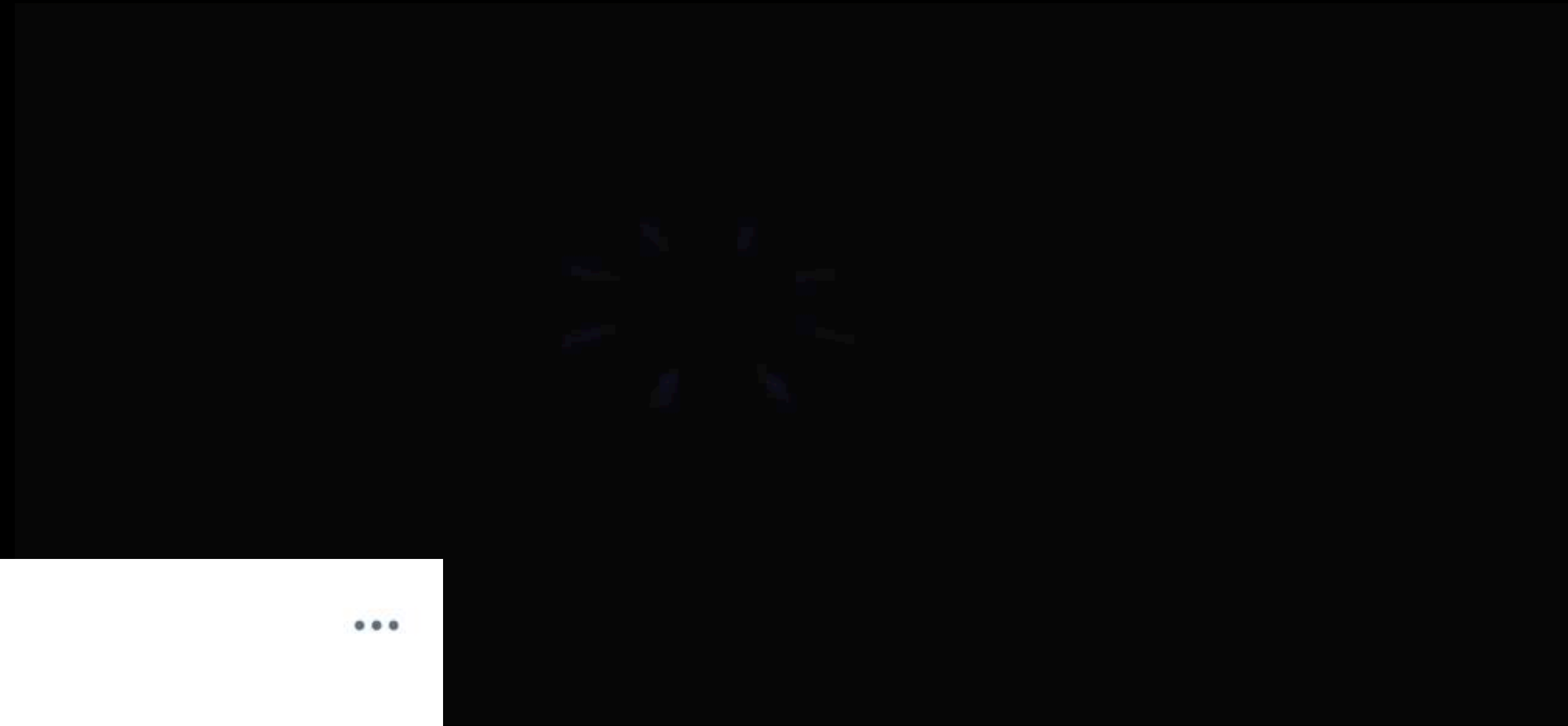


# Qu'est-ce l'énergie noire ?

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'



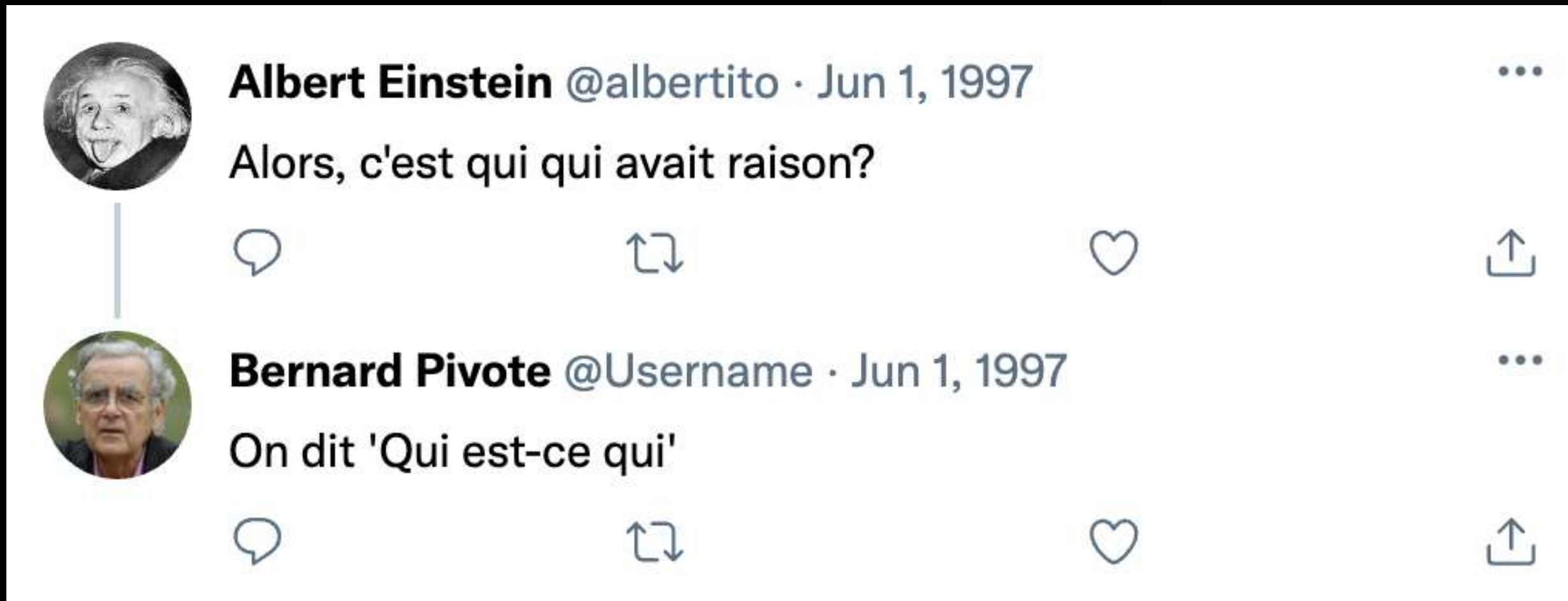
# Qu'est-ce l'énergie noire ?

Energie du vide ? Non...

Constante cosmologique ?



Meilleure théorie de la gravité ?



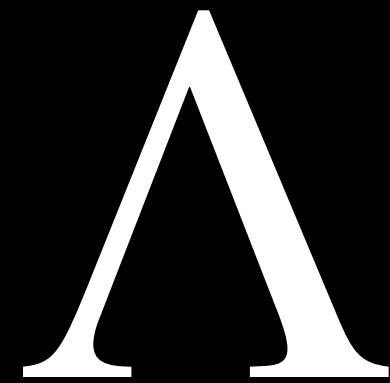
A screenshot of a Twitter conversation. The top tweet is from Albert Einstein (@albertito) dated Jun 1, 1997, with the text "Alors, c'est qui qui avait raison?". The bottom tweet is from Bernard Pivote (@Username) dated Jun 1, 1997, with the text "On dit 'Qui est-ce qui'". Both tweets show icons for replies, retweets, likes, and share.



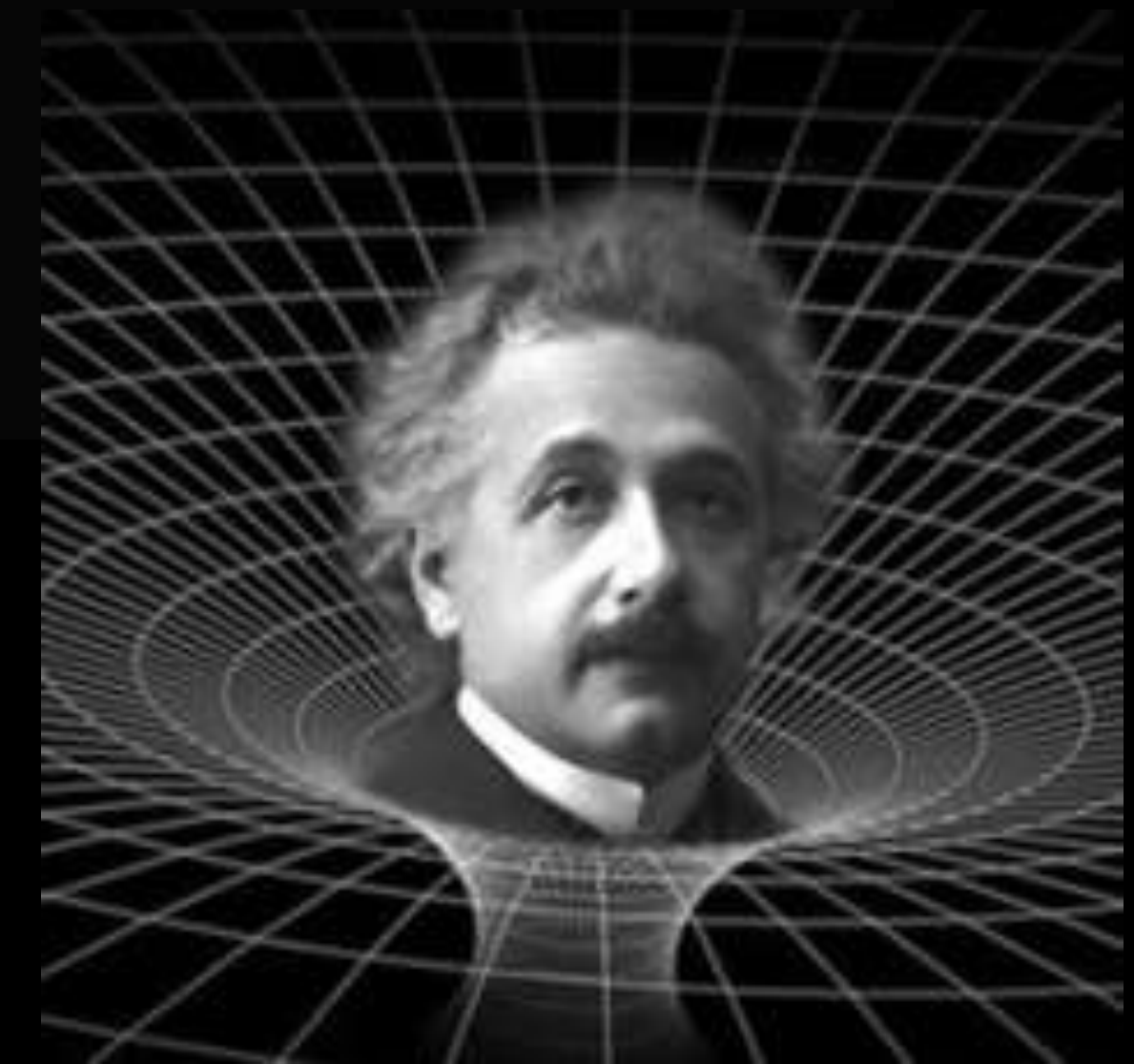
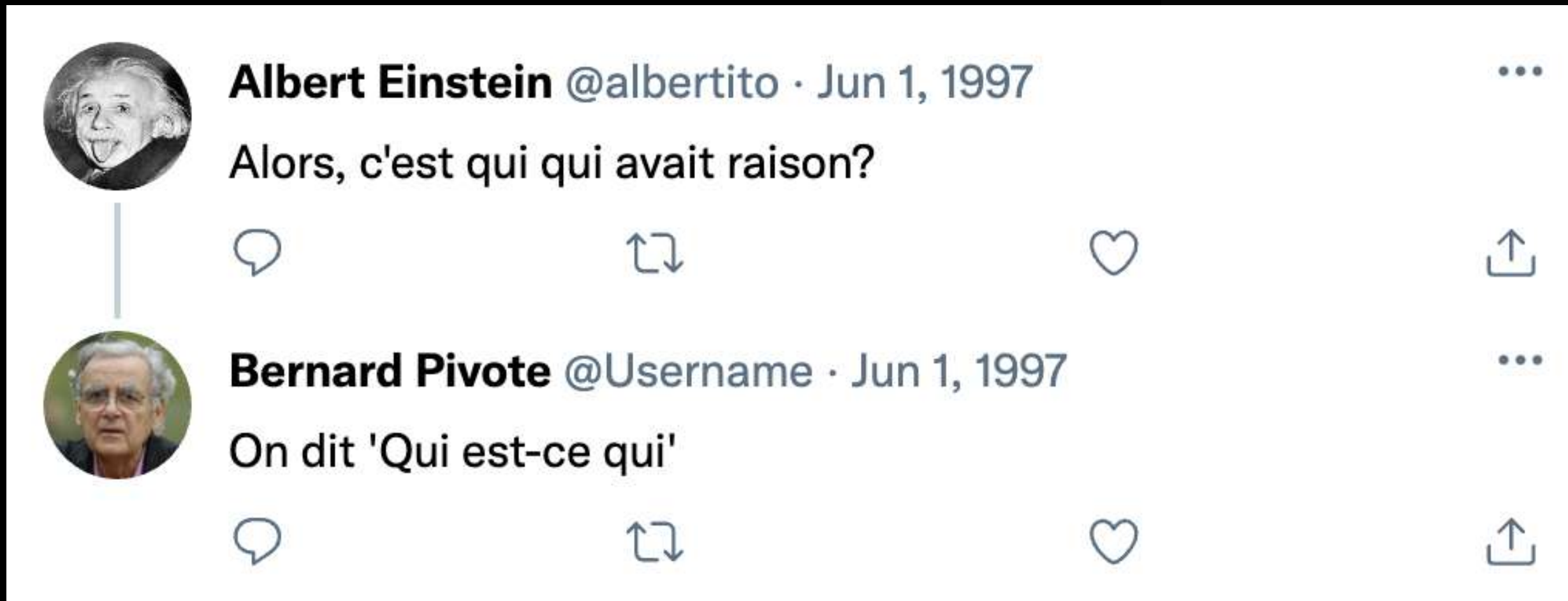
# Qu'est-ce l'énergie noire ?

Energie du vide ? Non...

Constante cosmologique ?



Meilleure théorie de la gravité ?

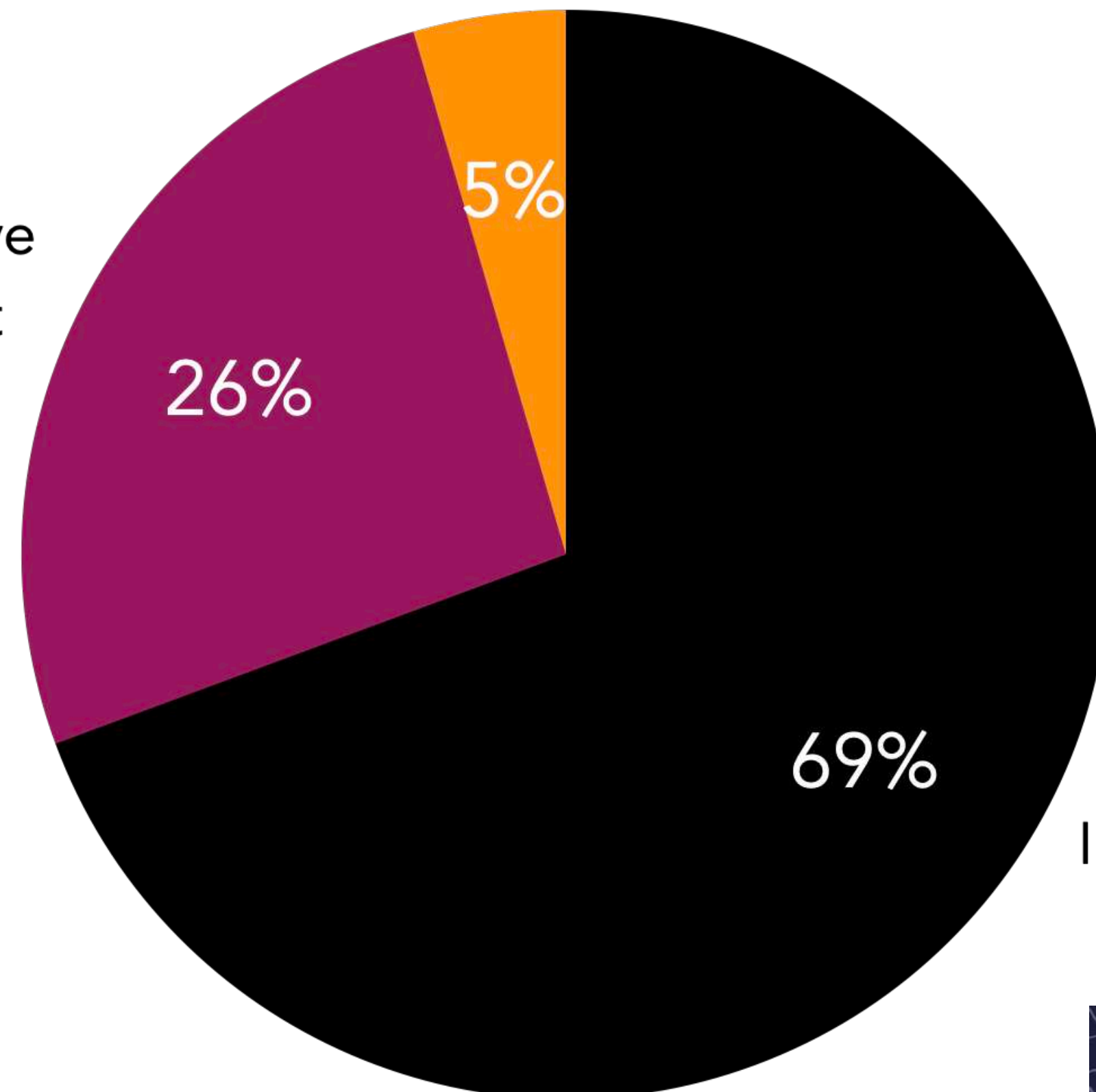
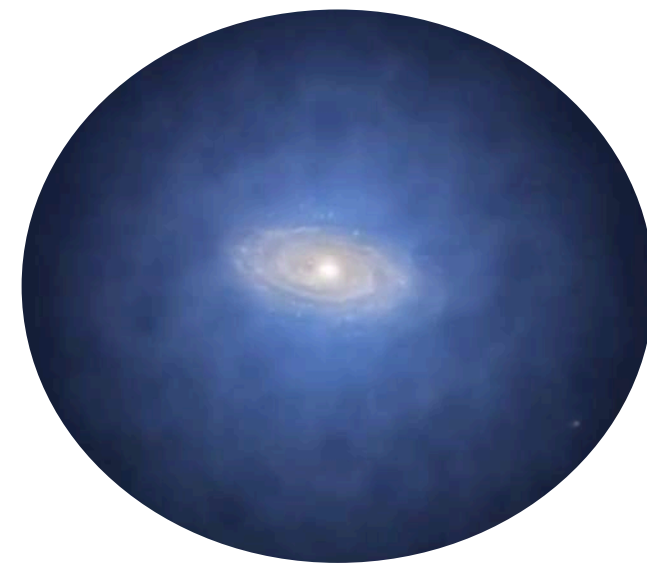


**Nous n'avons pas encore de réponse !**

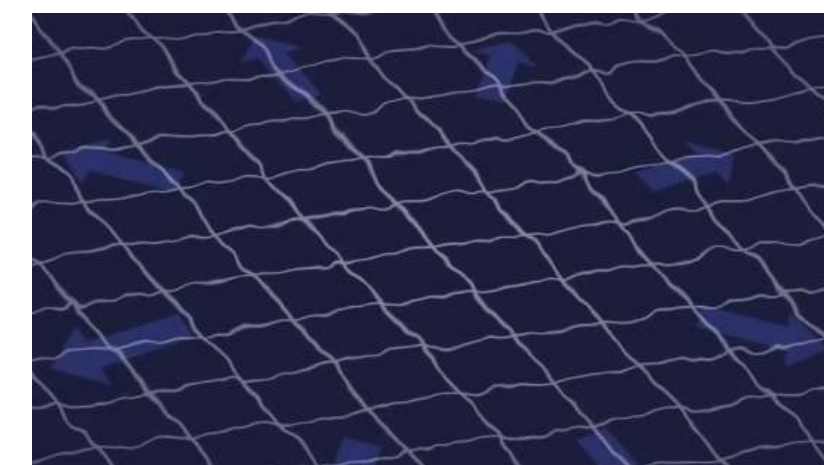
# Le côté obscur de l'Univers

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

**Matière noire**  
Invisible mais attractive  
gravitationnellement



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



# Télescopes de la prochaine décennie



**Participation marseillaise à tous ces projets**

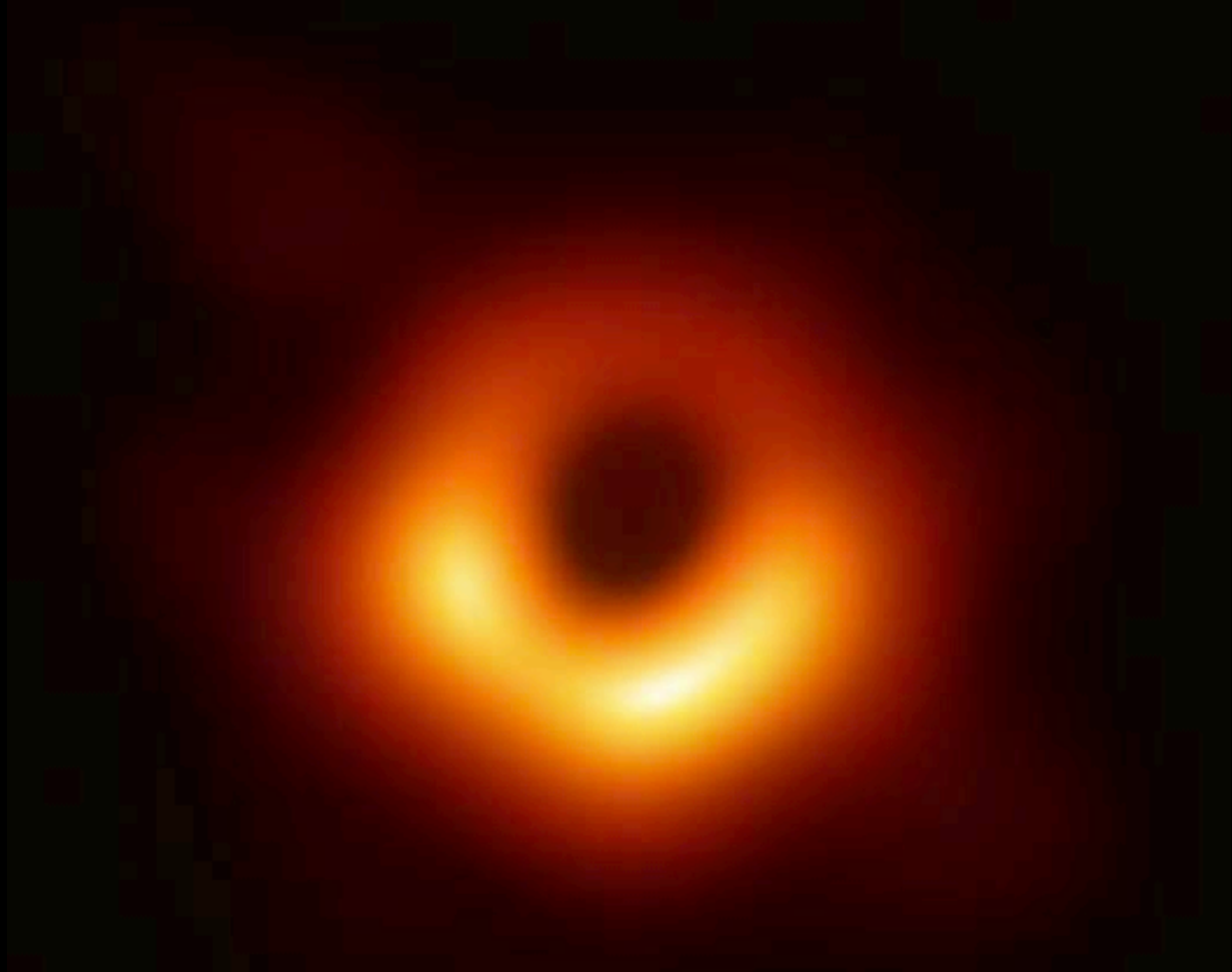
# Les mystères de l'Univers

Quelle est la nature de la Matière Noire?

Qu'est-ce l'Énergie Noire?

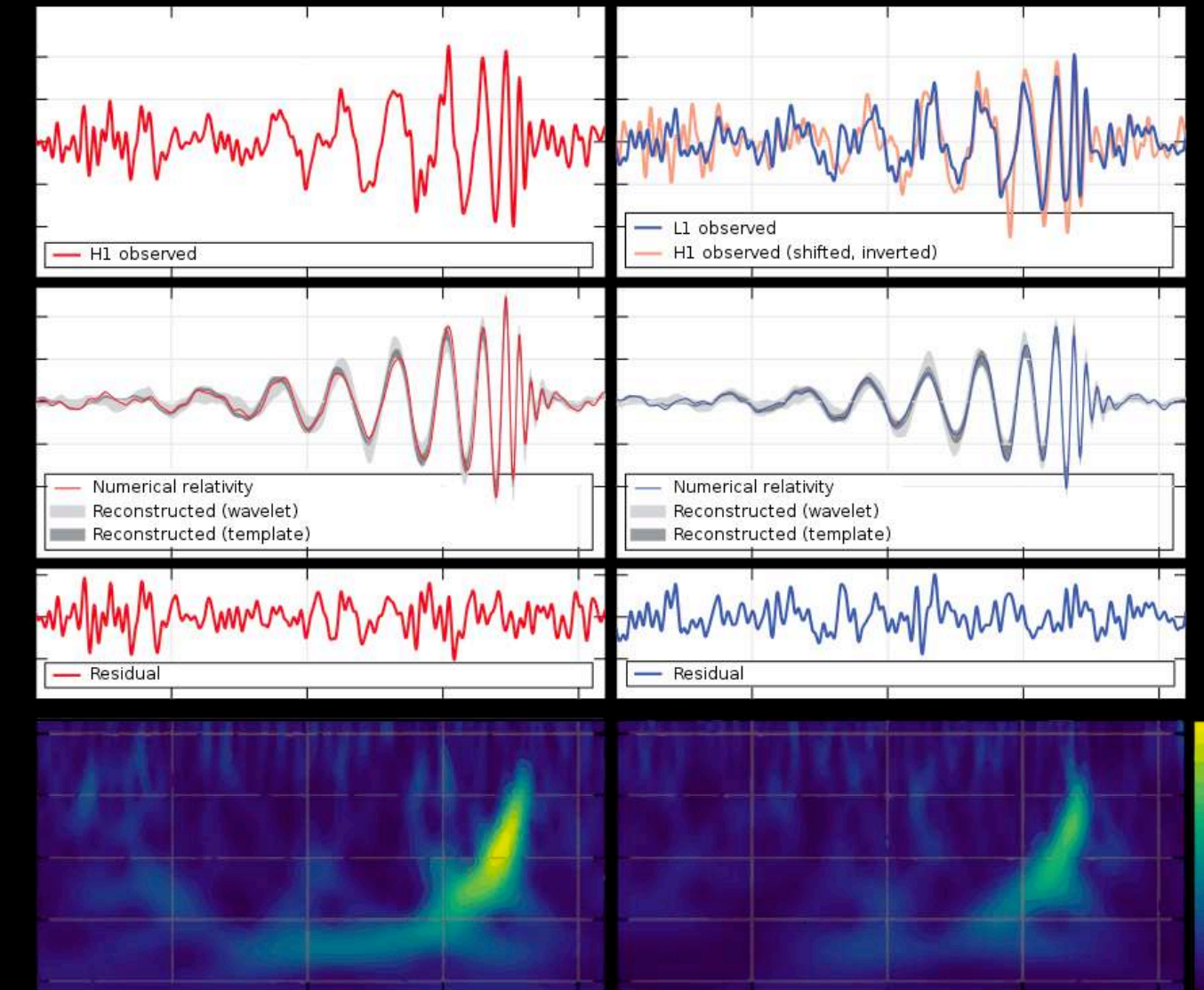
Et les trous noirs dans tout ça?

Observation

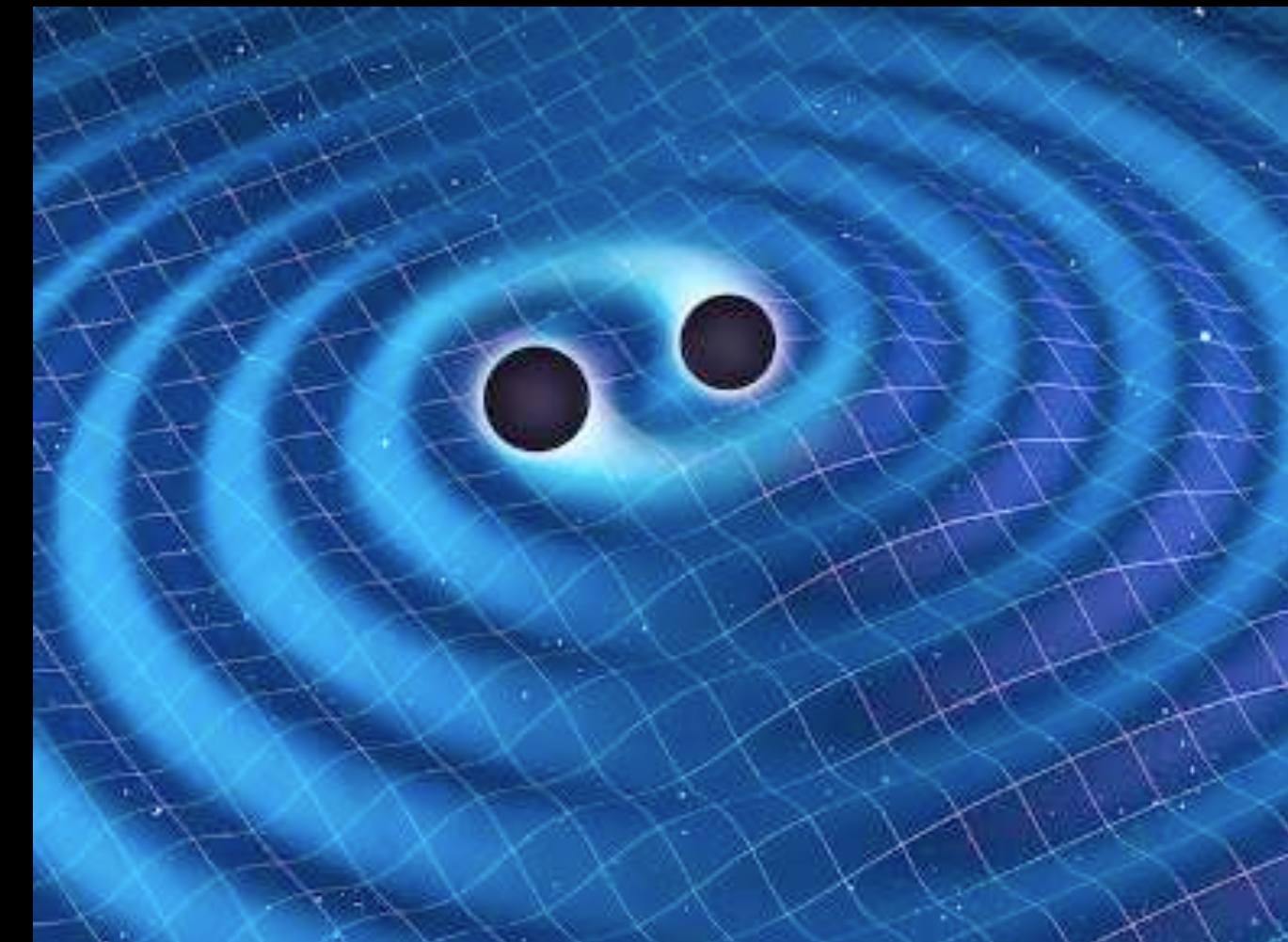


Théorie

Observation



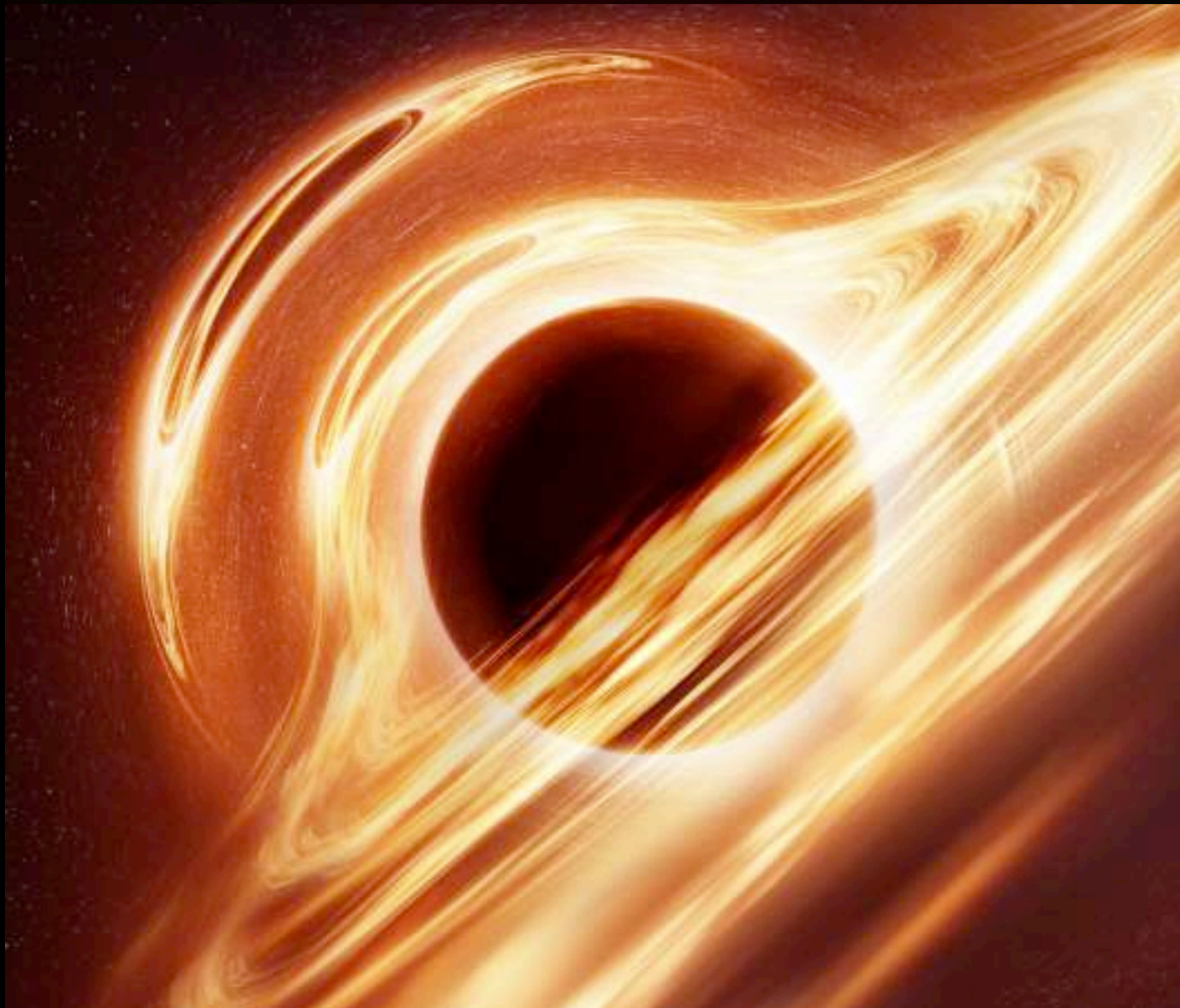
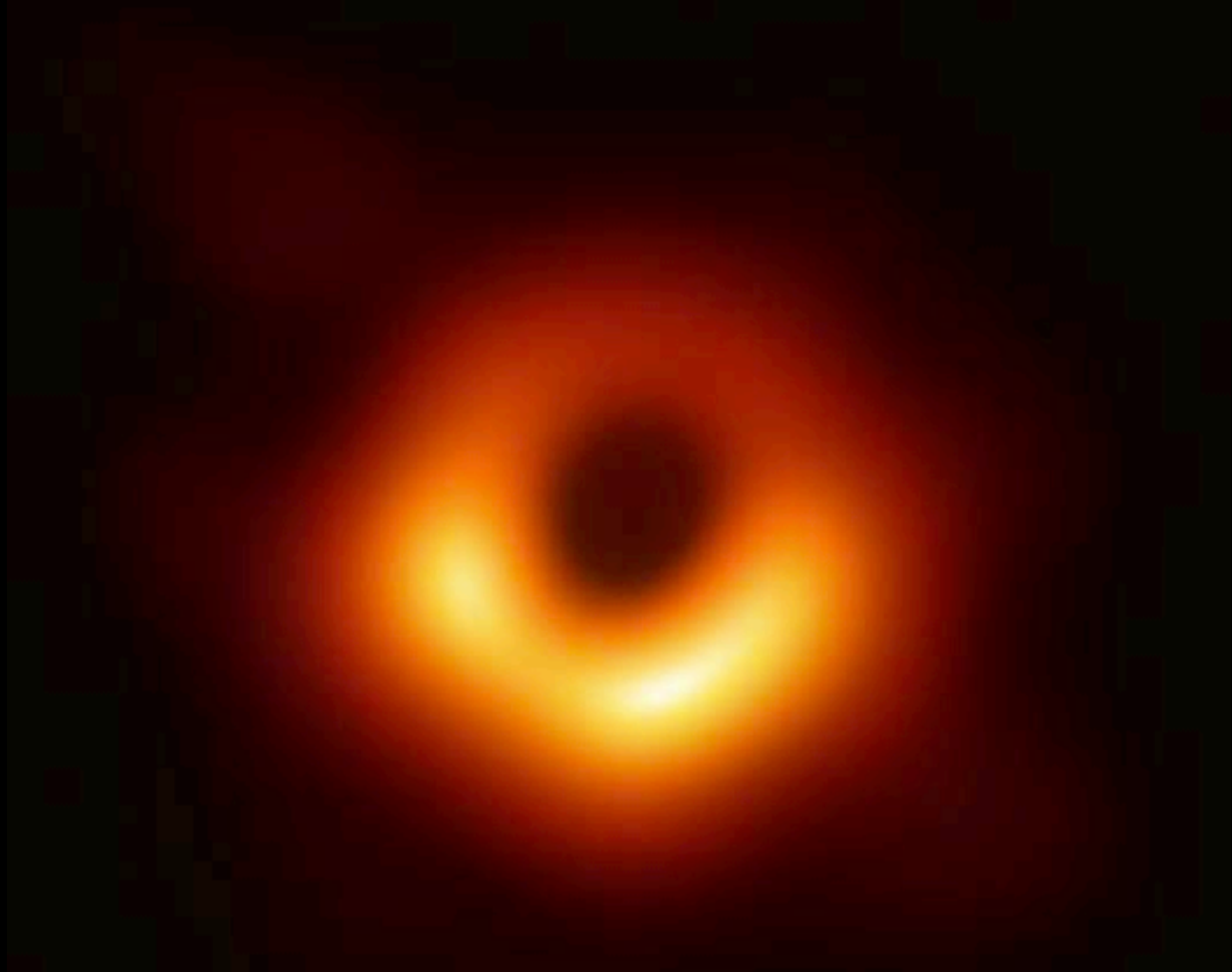
Et les trous noirs dans tout ça?



Théorie

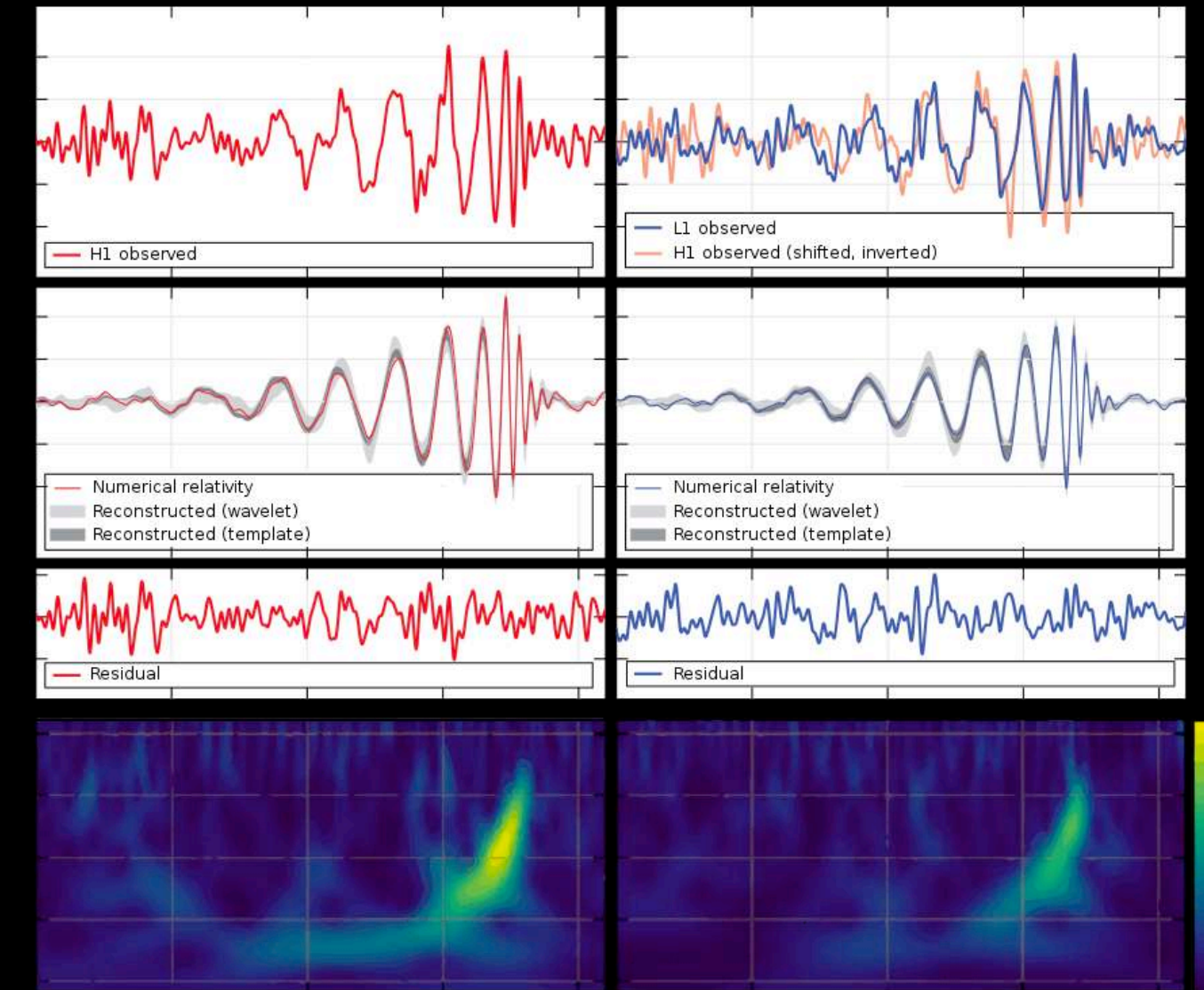


Observation



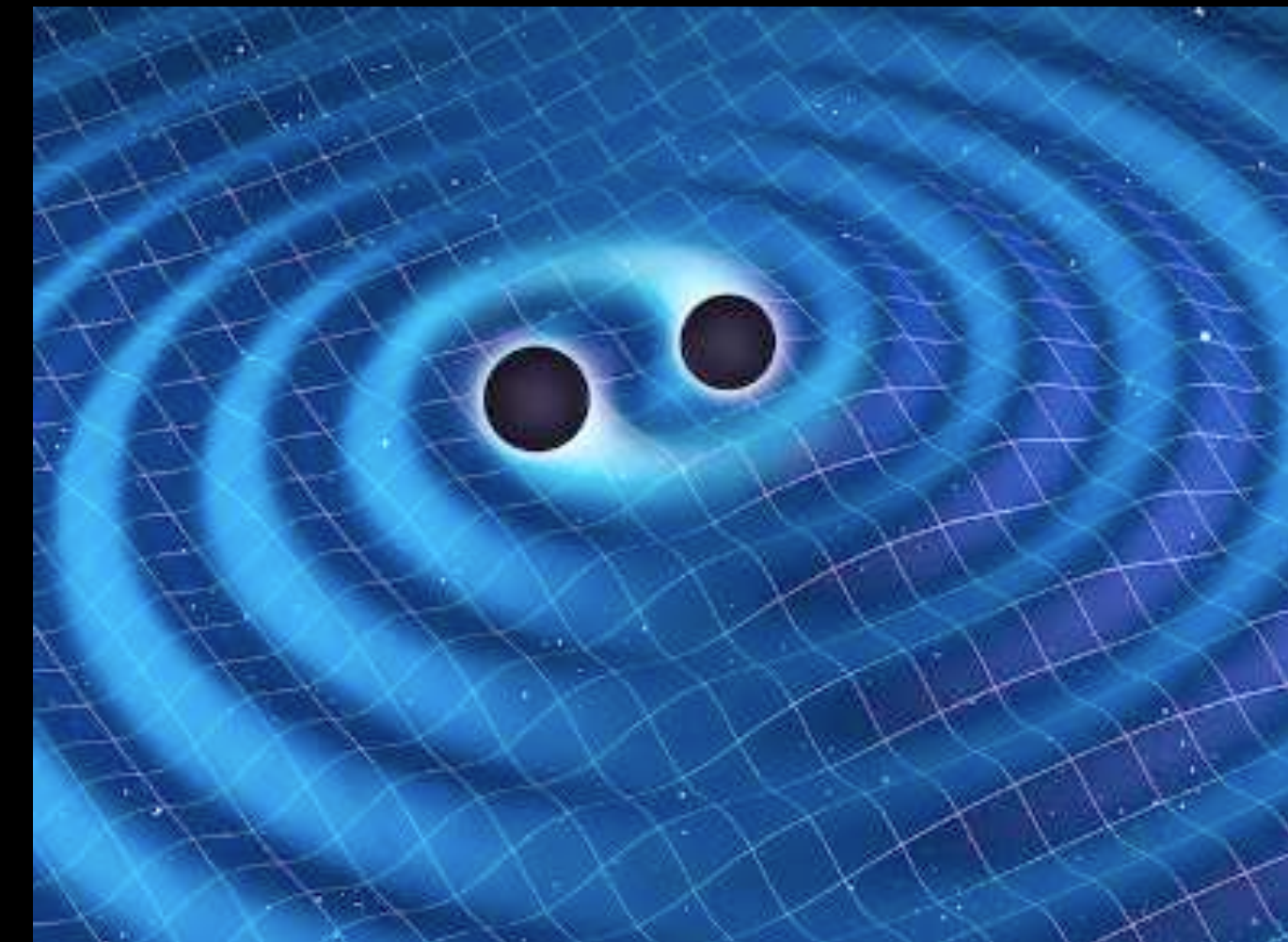
Théorie

Observation



Et les trous noirs dans tout ça?

Une prochaine fois...



Théorie

Merci !



# Histoire de l'Univers

