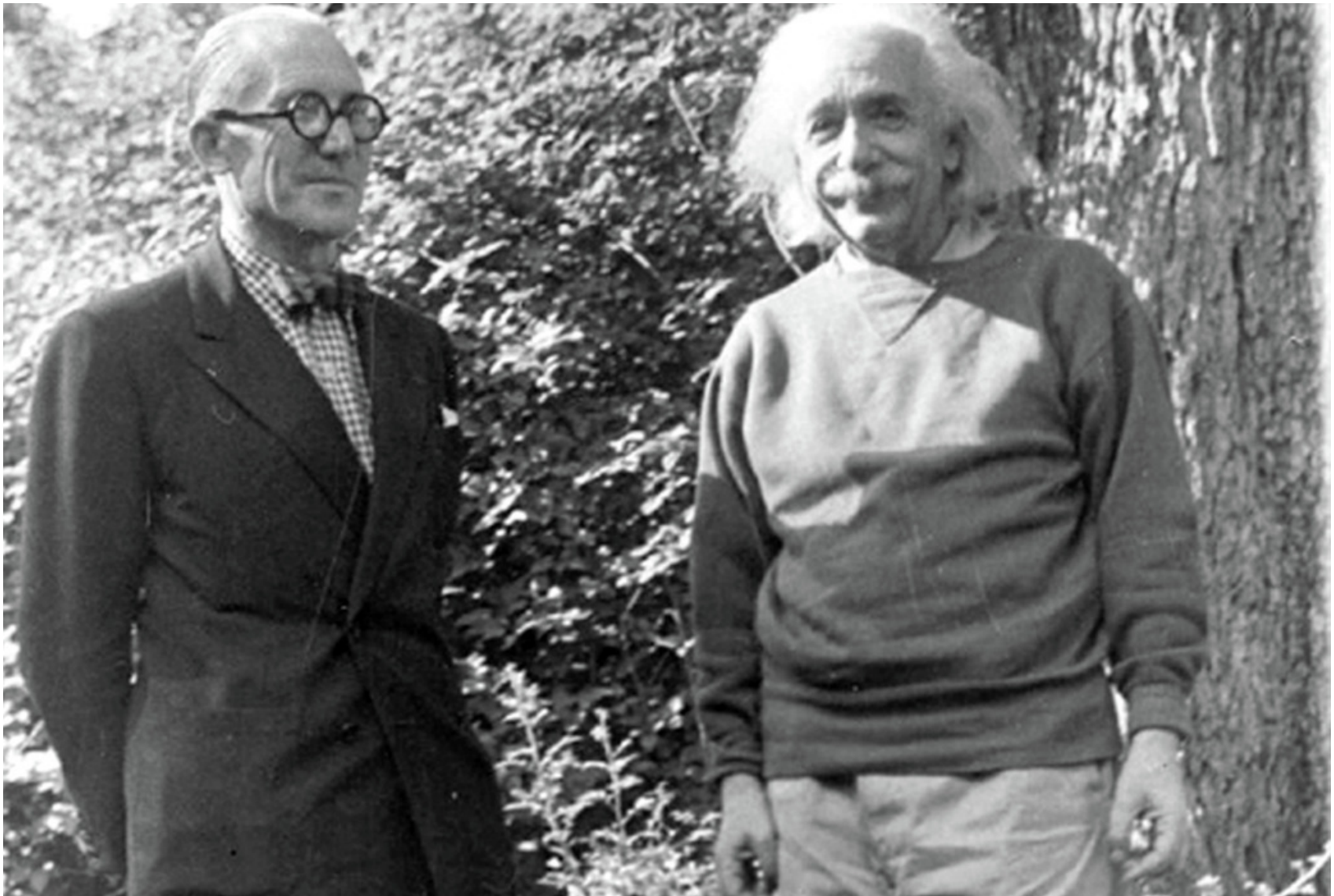
LHCb MasterClass 2018
Marseille, CPPM
Cédric Méaux

• Le modèle standard donne un cadre mathématiques commun à 3 des 4 interactions fondamentales:
faible, forte et électromagnétique!
• Mais il y a encore beaucoup de questions dont on ne connait pas la réponse, elles sont surtout associées à des observations **astronomiques** ou **cosmologiques**.

0) Relativité générale et cosmologie

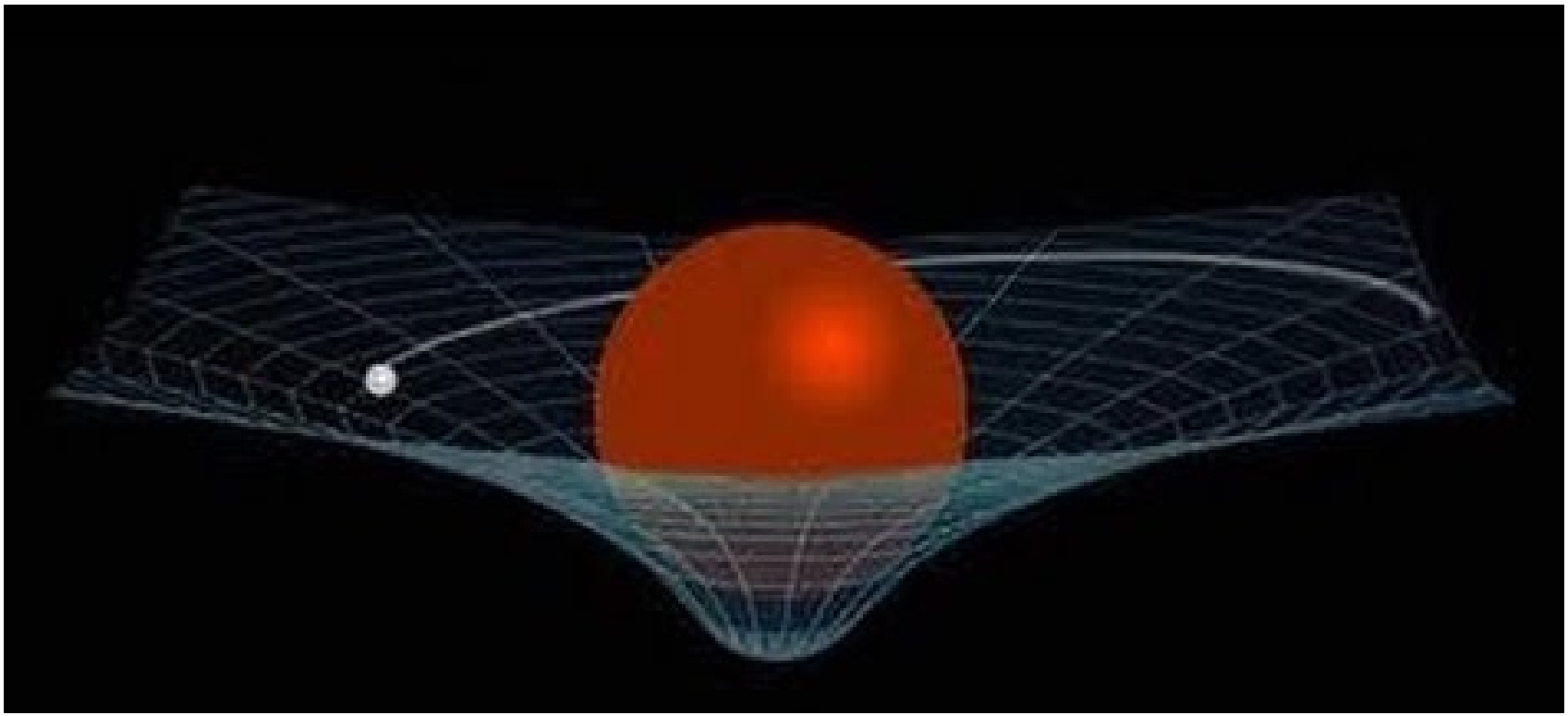


La relativité générale

• 1905, Einstein: La relativité restreinte (aucune information ne peut se propager plus vite que c)
• En désaccord avec la loi de la graviation de Newton: $F = G\frac{M_1 M_2}{r^2}$

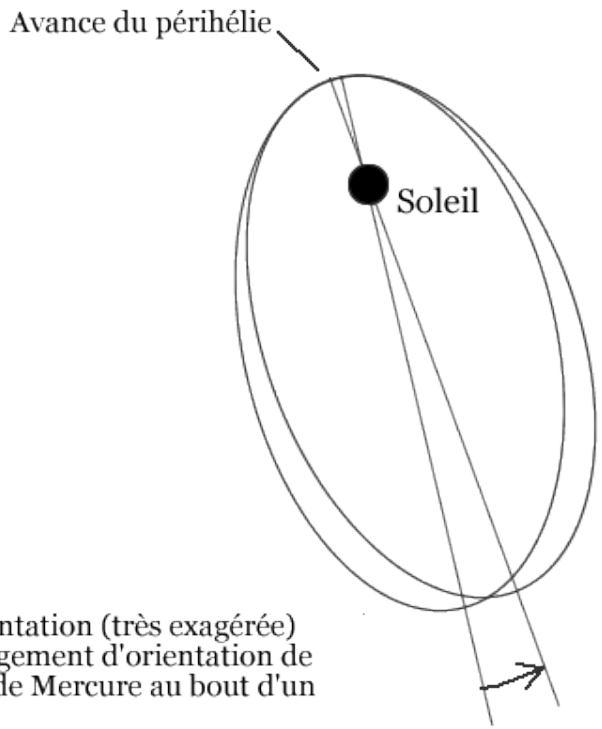
$\Rightarrow$ La relativité générale

- Interaction entre deux objets massifs (Newton)
- Déformation de l'espace-temps par un objet massif (Einstein)



Validée de nombreuse fois par l'expérience:

1ère "prédiction": la trajectoire de Mercure autour du Soleil prédite par la théorie de la gravité de Newton est en désaccord avec la mesure!

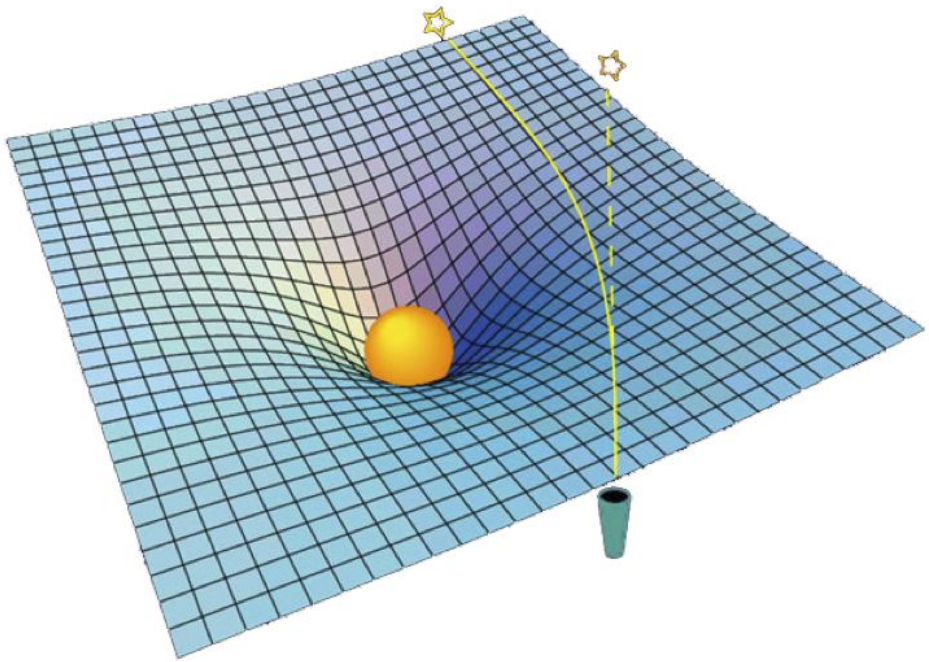


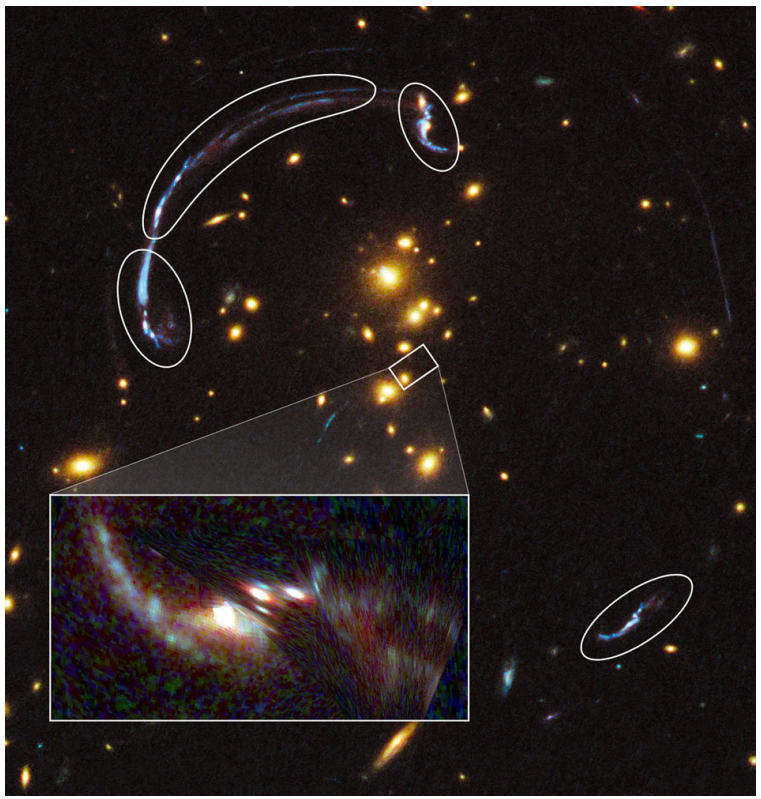
Représentation (très exagérée) du changement d'orientation de l'orbite de Mercure au bout d'un siècle

- $\phi_{\text{exp}} = (574.8 \pm 0.4)''/\text{siecle}$
  $\phi_{\text{Newton}} = (531.7 \pm 0.2)''/\text{siecle}$
- 1915: Einstein propose sa théorie de la relativité générale en faisant correspondre la nouvelle prédiction avec la mesure.

2ème prédiction: Déviation de la lumière par un objet massif (1919)

- Photon de masse nulle: insensible à la gravité selon Newton mais pas selon Einstein

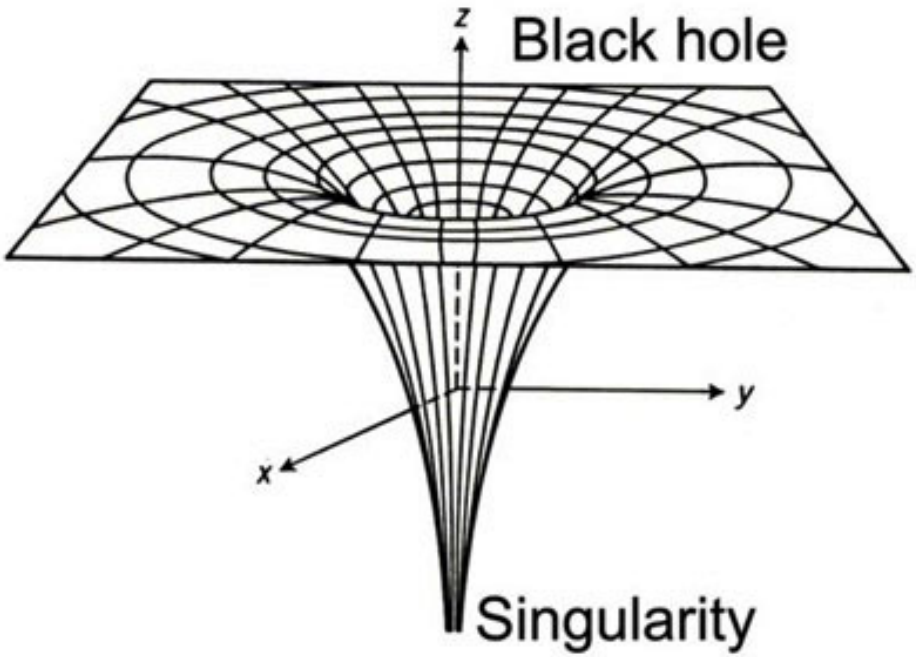


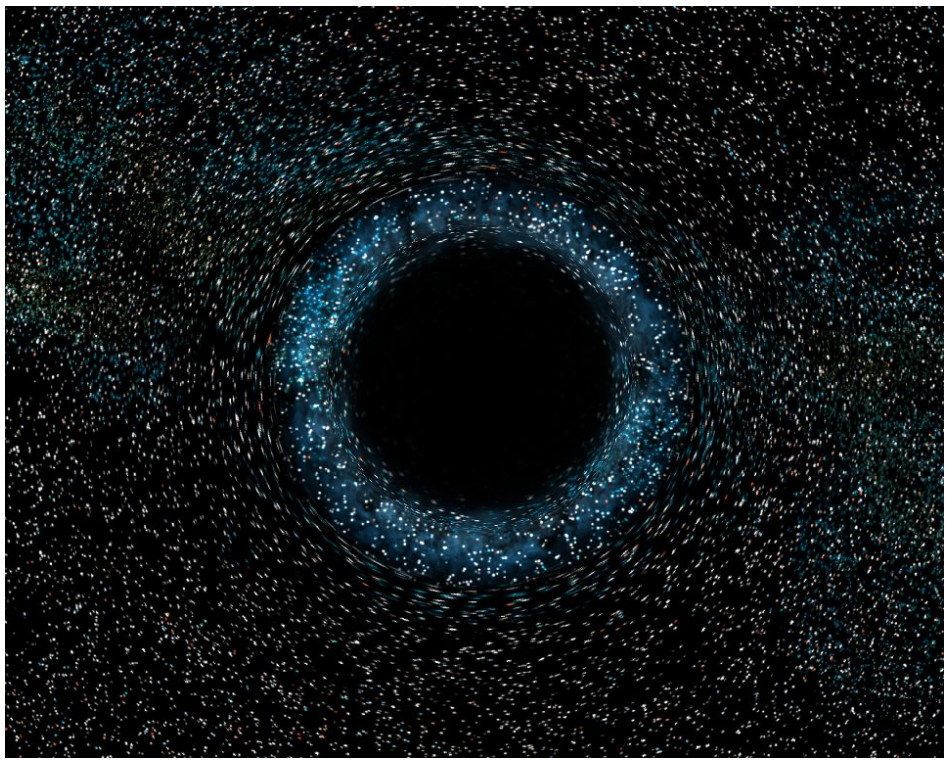


- Que se passe t-il si la masse du soleil est contenue dans un petit volume?

Une autre prédiction spectaculaire: le trou noir

- une masse M qui se trouve totalement concentrée à l'intérieur d'une sphère de rayon $R_s = \frac{2MG}{c^2}$.
  Pour le Soleil, $R_s = 2.95$ km





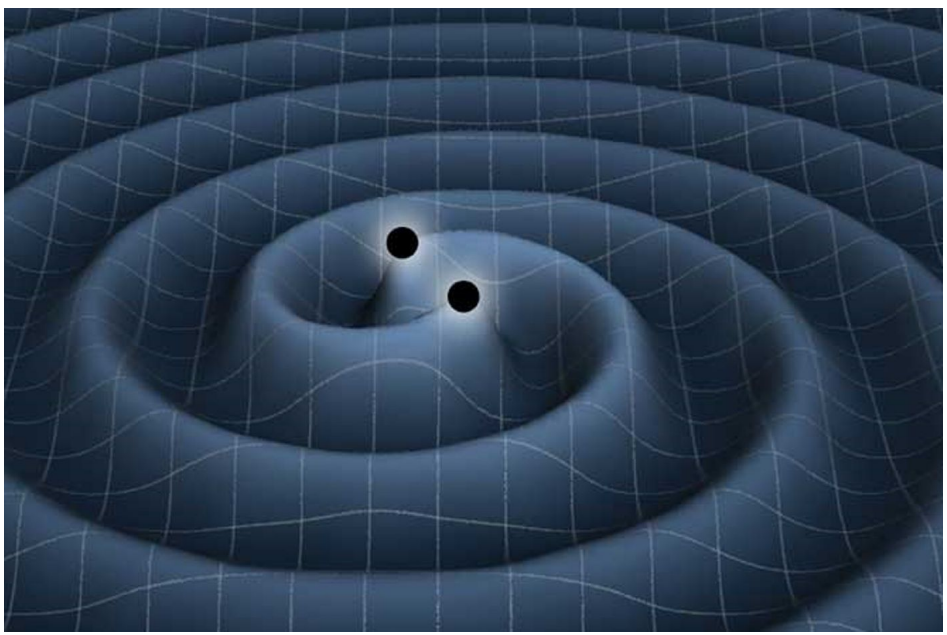
- observation indirecte car le trou noir n'émet rien dans le spectre électromagnétique (selon la relativité générale)

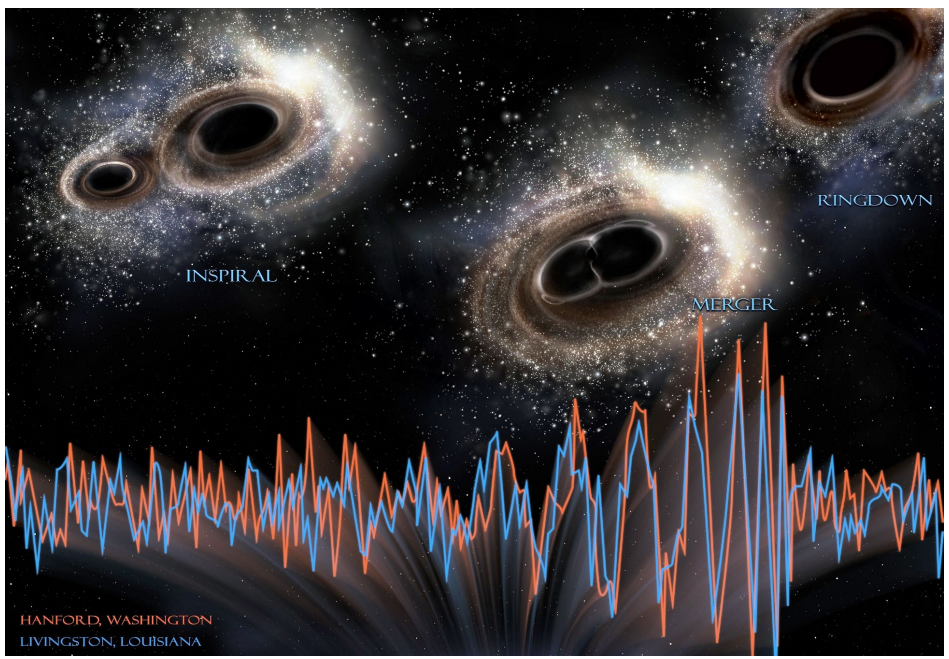
La dernière des dernière..

- Newton: intéraction instantannée
- Einstein: **propagation** de la déformation de l'espace-temps

La dernière des dernière..

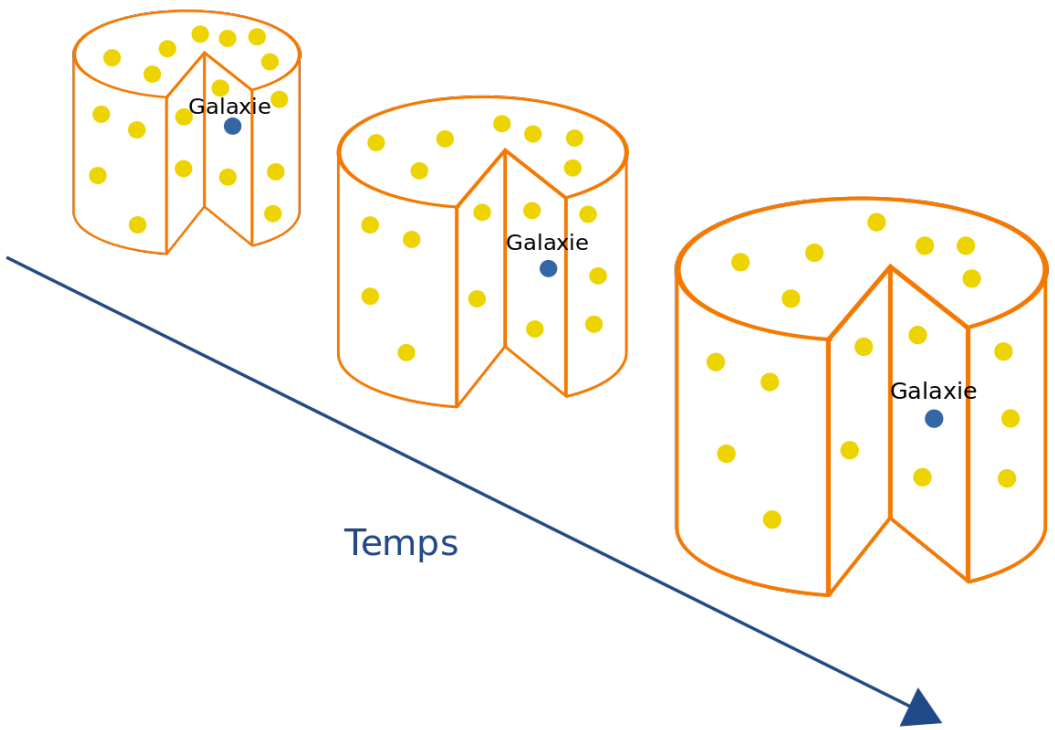
- Newton: intéraction instantannée
- Einstein: **propagation** de la déformation de l'espace-temps
  - $\Rightarrow$ présence d'onde gravitationnelle
- Prix nobel de physique 1993:
  observation indirecte à l'aide d'objets astrophysiques (système de pulsars binaire)
- 11 Février 2016! Première observation directe





Naissance de la cosmologie

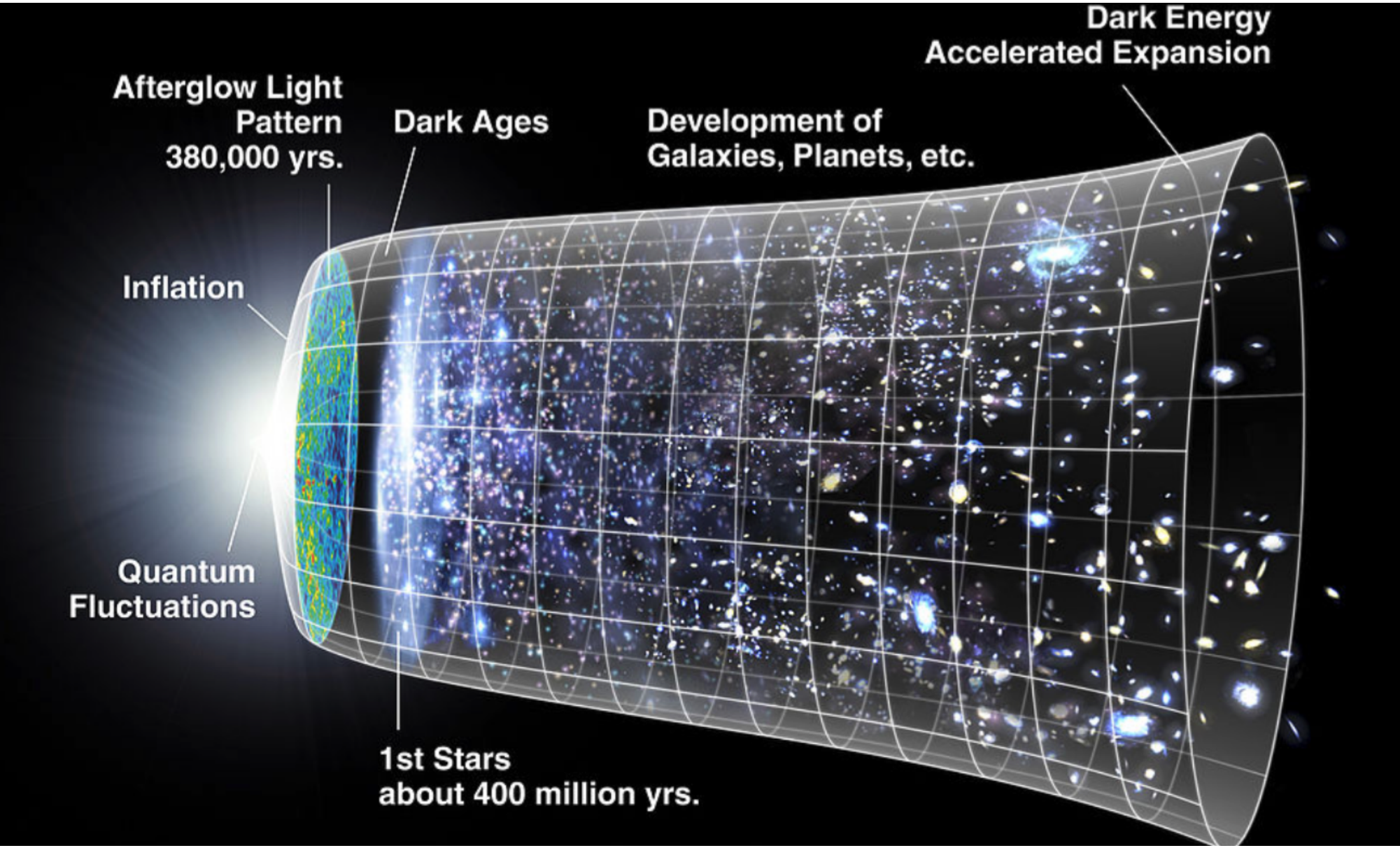
- Equation de Friedmann:
  - $\Rightarrow$ l'univers peut être en contraction ou en expansion!
    - Edwin Hubble mesure la vitesse d'éloignement des galaxies en fonction de leur distance



- L'Univers est en expansion! (comme un cake dans un four!)
- Que se passe t-il si l'on remonte dans le temps?

The Big Bang theory

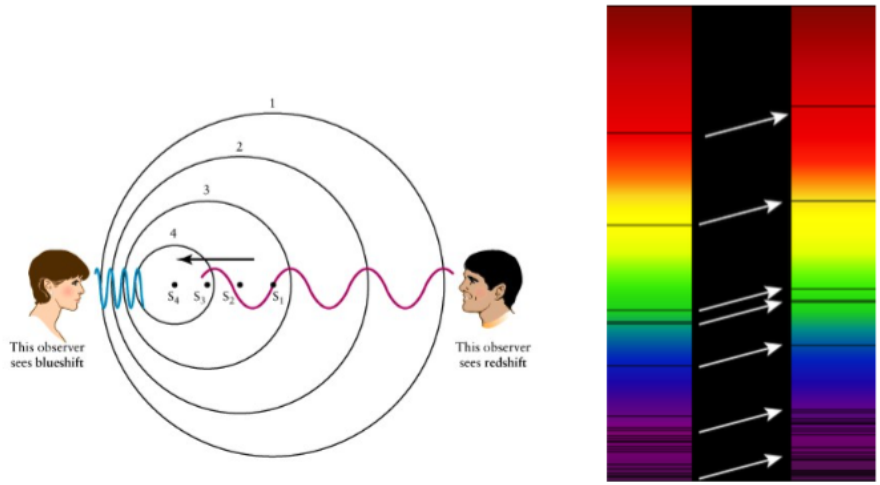
The Big Bang theory



I) The dark side of the Universe: Matière Noire et Energie Noire!

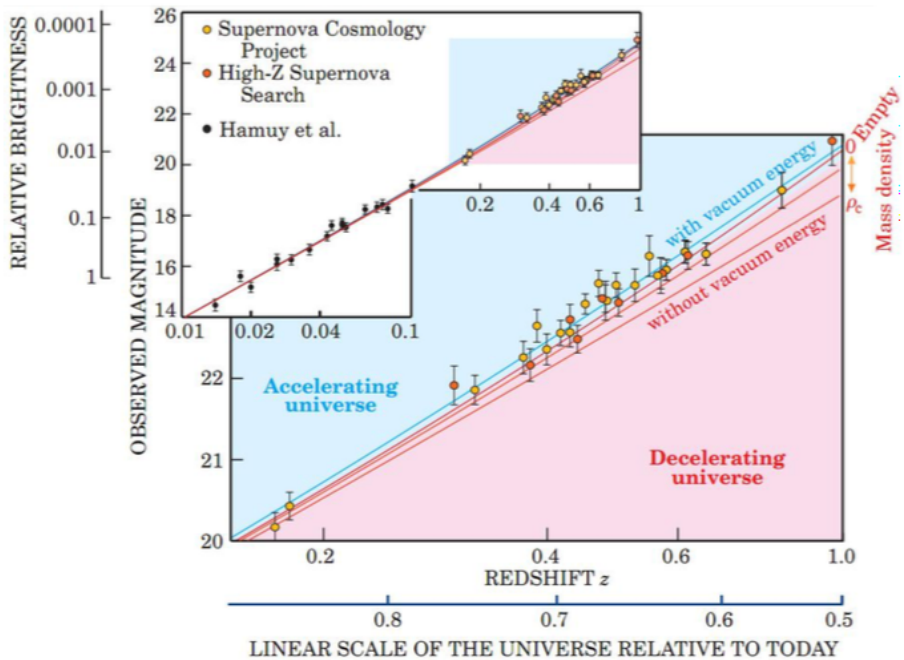
Energie noire, observation 1: Supernovae

Supernovae (Type Ia)
- Chandelles standards
- Luminosité de l'explosion est toujours la même.



- Luminosité observée $\Rightarrow$ distance
- Décalage vers le rouge $\Rightarrow$ vitesse

(comme Effet Doppler)

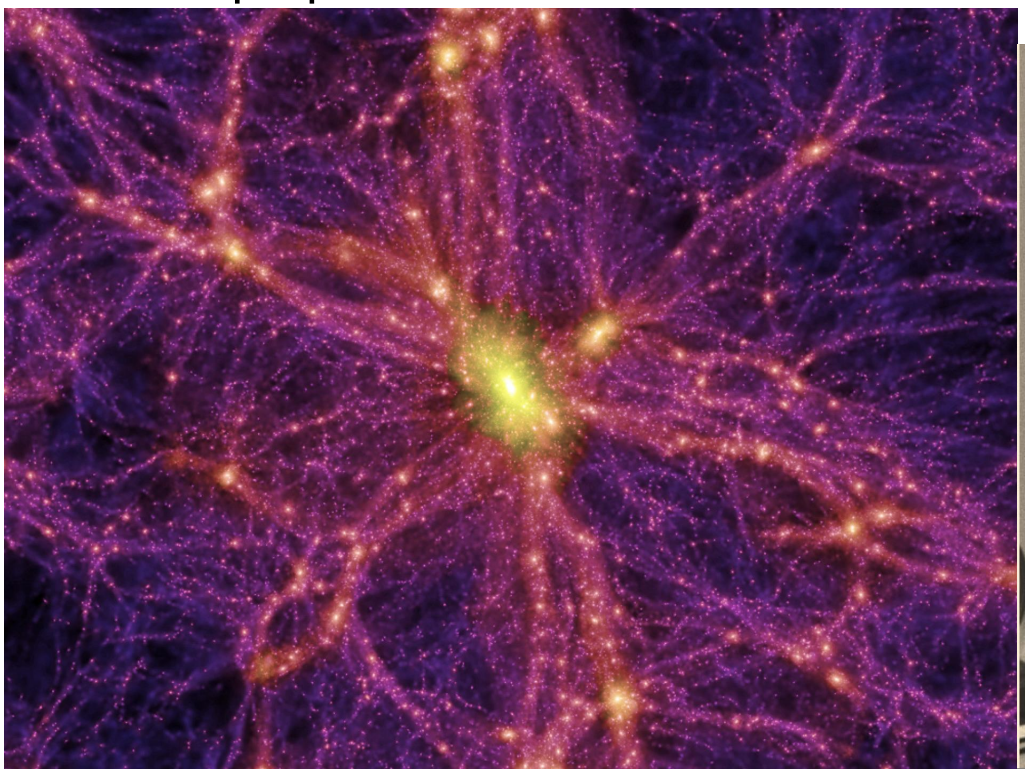


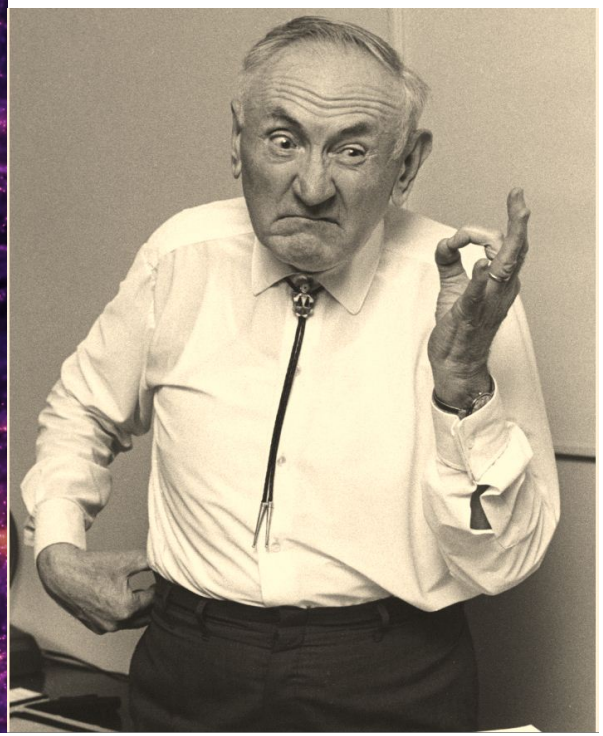
★ L'Univers est en expansion ACCELERE !!

$\Rightarrow$ **Présence d'une force "répulsive": l'Energie noire**

Matière noire, observation 1: Amas de galaxies Coma

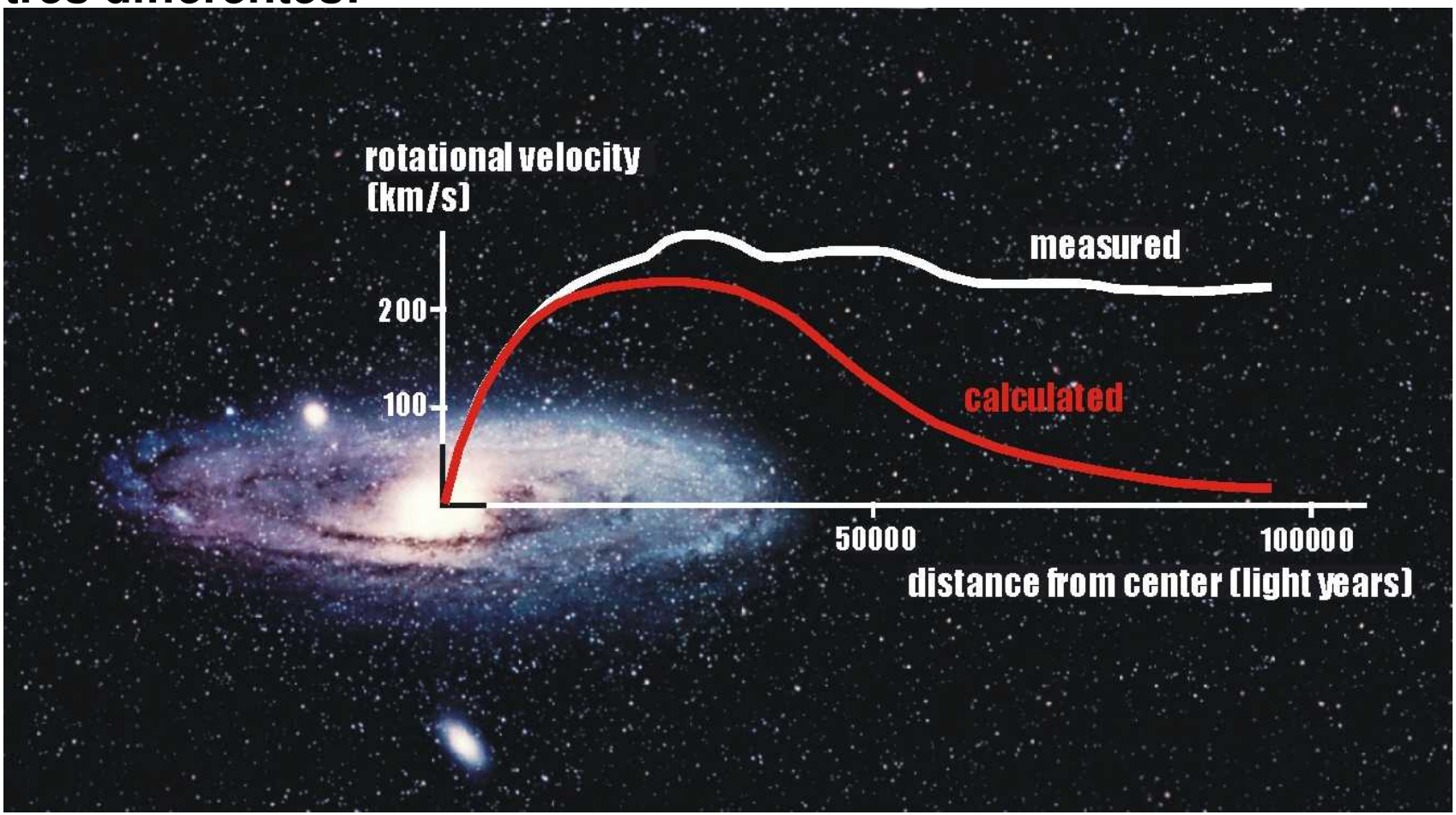
- En 1933, Fritz Zwicky mesure la vitesse des galaxies dans l'amas de Coma.
- Les galaxies vont trop vite pour rester ensemble grâce à la force de gravitation calculée avec la matière visible.
- Pour expliquer l'observation, **90 %** de la matière doit être **invisible.**





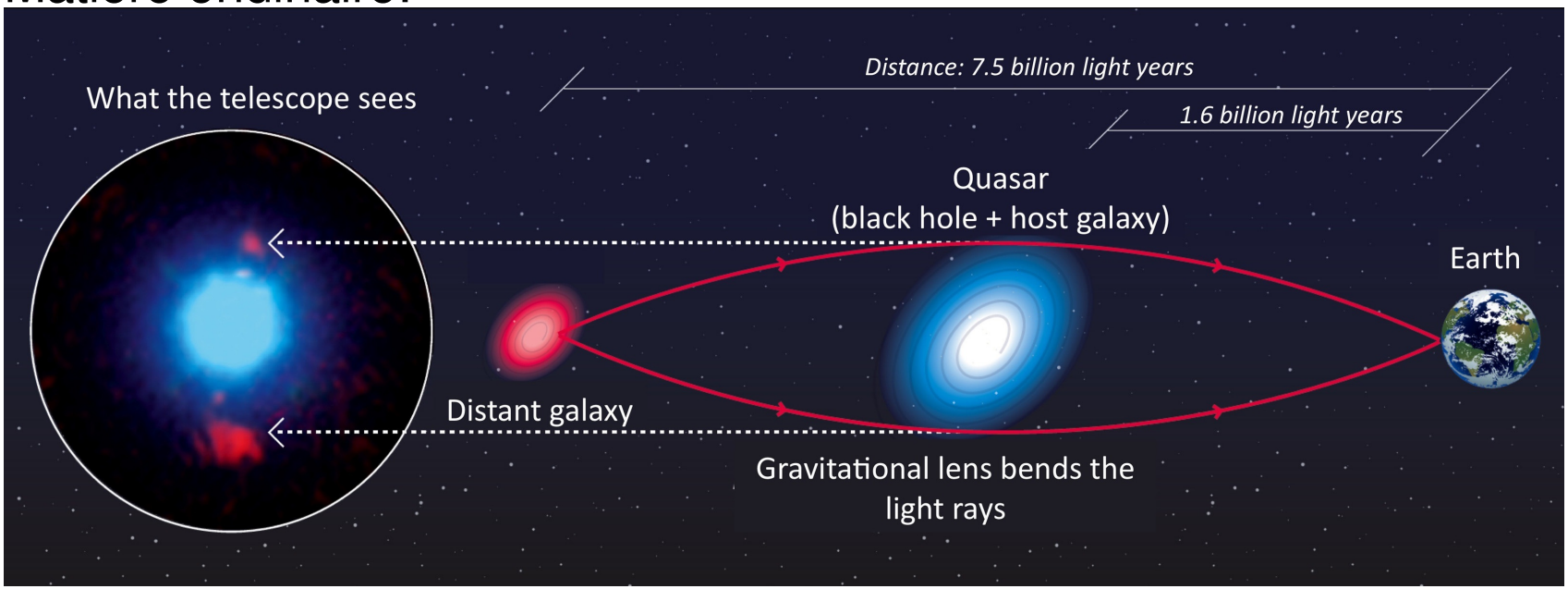
Matière noire, observation 2: La vitesse de rotation des étoiles dans les galaxies

- Mesure de la **vitesse de rotation** en fonction de la **distance du centre de la galaxie.**
- **La mesure est la prédiction reposant sur la matière visible sont très différentes!**

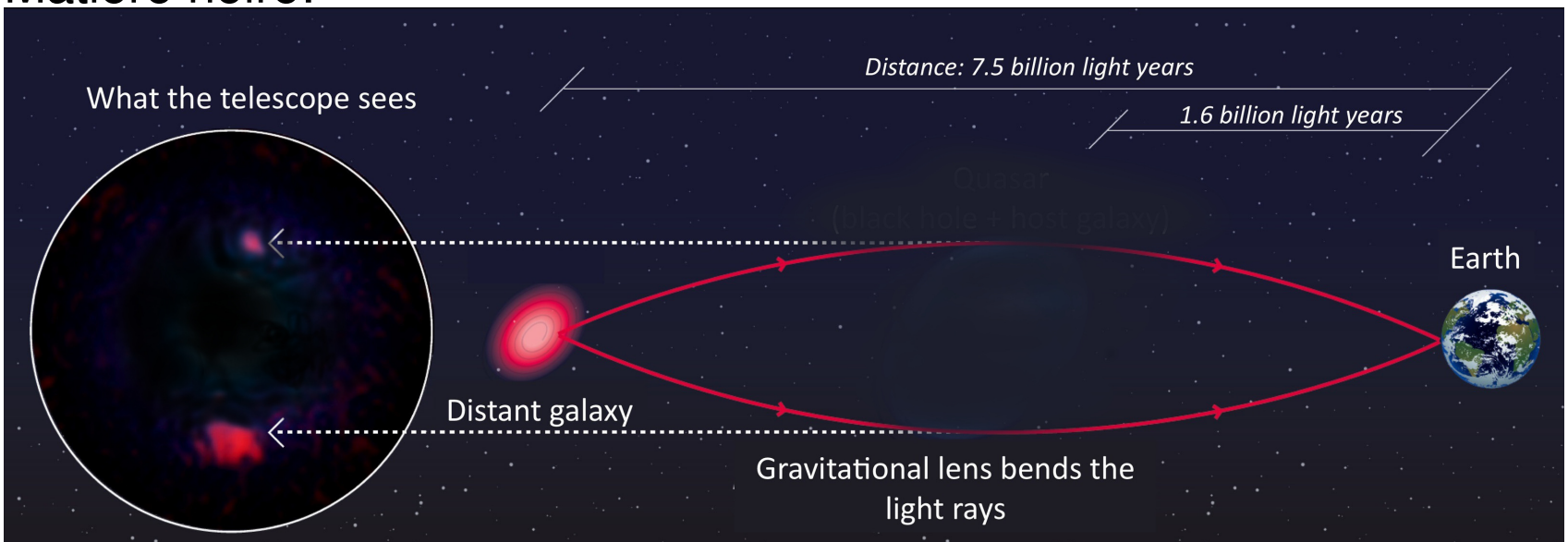


Matière noire, observation 3: lentille gravitationelle

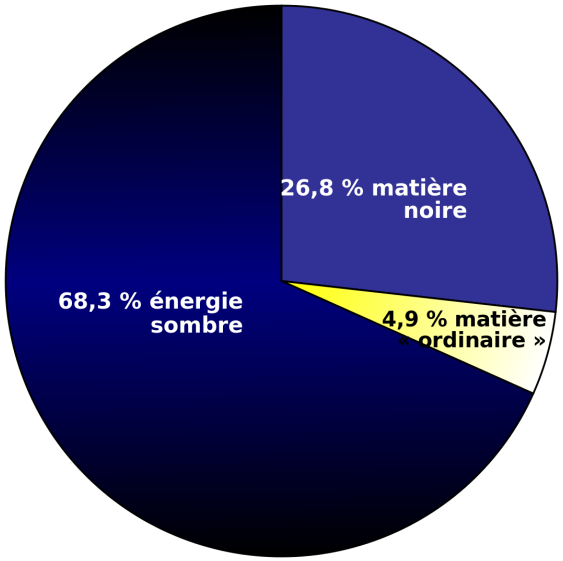
Matière oridinaire:



Matière noire:



Petit résumé



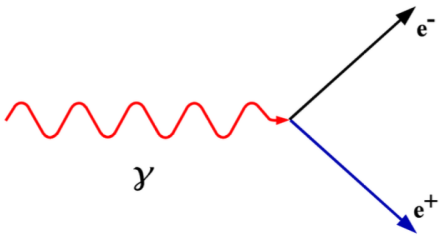
- **Energie noire $\simeq$ 70 %**
- **Matière noire $\simeq$ 25 %**
- **Matière ordinaire (baryonique) $\simeq$5 %**
  - Hydrogène et Hélium ($\leq$4%)
  - Etoile ($\simeq$0.5%)
  - Neutrinos ($\simeq$0.3%)
  - Elements lourds ($\simeq$0.03%)

- **La matière noire**:
  - Expérimentalement bien établie!
  - Preuve graviatationelle (galaxies, amas, lentille)
  - Mesurée avec le Fond diffus cosmologique
  - Ne peut pas s'expliquer avec le modèle standard
- **L'énergie noire**:
  - Mesurée avec les supernovae et le fond diffus cosmologique
  - Liée à l'accélération de notre Univers.
  - Pas encore d'explication non plus!

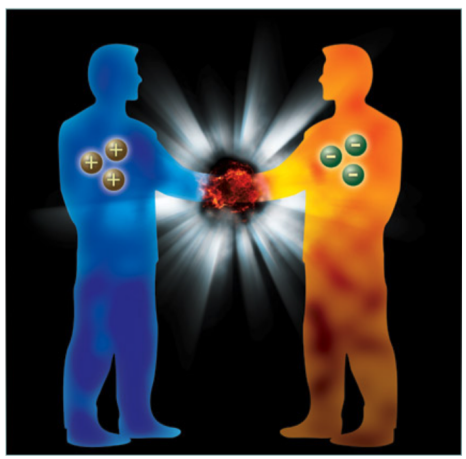
II) Composition de l'Univers: Mais où est donc passé l'antimatière ?

La matière et l'antimatière dans l'univers

- Créées en quantité égale lors du big bang.



- Annihilation de la matière et de l'antimatière:
  $q + \overline{q} \rightarrow \gamma\,\gamma$

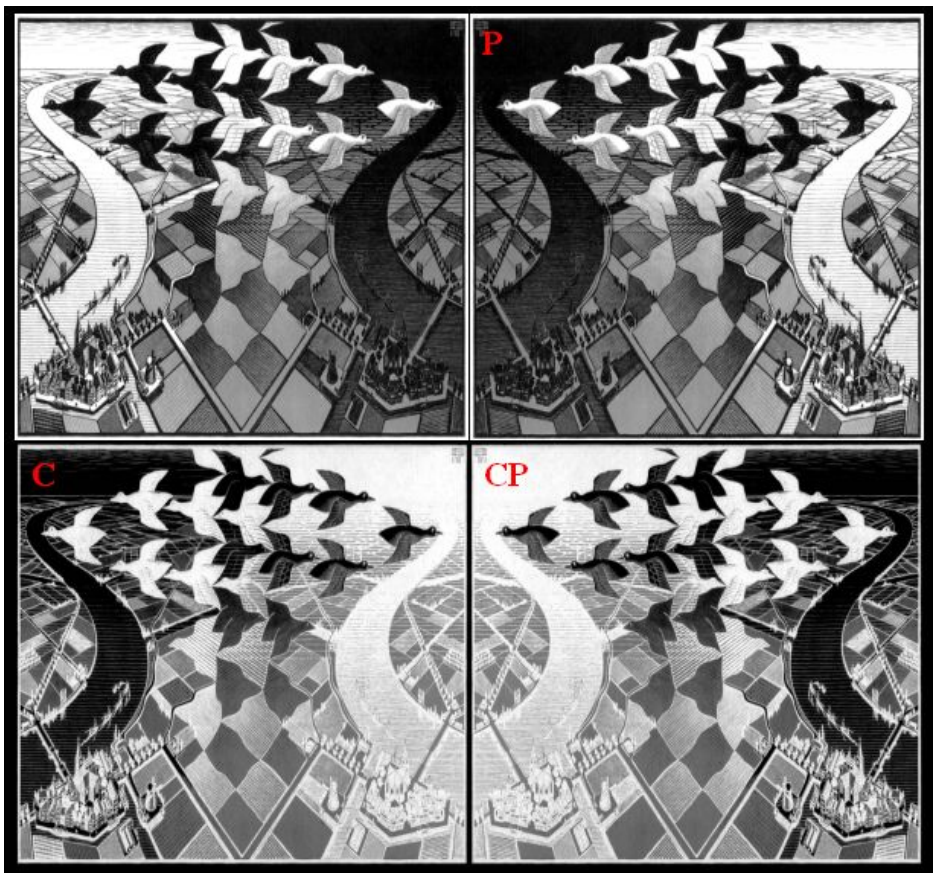


- Presque plus d'antimatière dans l'univers!
  $N_{\text{barions}}/N_{\text{photons}} \approx 6 \times 10^{-10}$
- Que s'est-il passé ?

$\Rightarrow$ La matière est favorisée dans ce processus à l'aide d'une asymétrie

Symétrie CP et violation

- Une symétrie est une transformation qui laisse invariante les lois de la physique
- C: charge opposée
- P: on regarde dans un miroir
- CP: particule $\equiv$ antiparticule



★ L'image CP est légèrement différente de l'image originale!
Violation CP du Modèle standard

Symétrie CP et violation

C, P et CP sont conservées par l'interaction électromagnétique et l'interaction forte mais pas par l'interaction faible!

(idée de Lee et Yang en 1956, montré par Mme Wu en 1957, prix Nobel pour Lee et Yang)

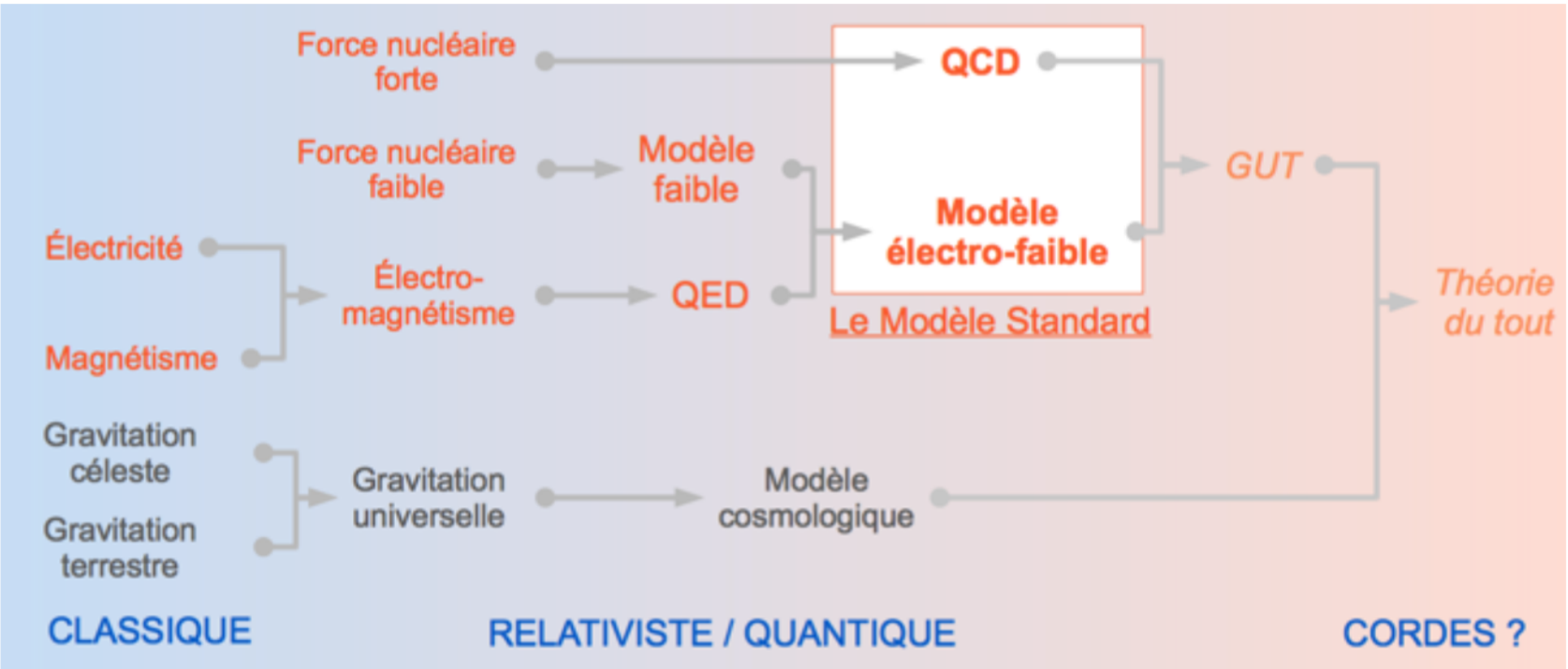
Il existe une asymétrie (légère) entre matière et anti-matière, décrite dans le cadre du MS.

Cette asymétrie ne permet cependant pas d'expliquer la disparition de l'anti-matière :

Il manque encore un facteur 10^{10} !!!

Gros résumé

- 95 % de notre Univers inconnu!
  25% de matère noire, 70% d'énergie noire.
- Comment l'antimatière a disparu ?
- De nombreuses questions théoriques, comme l'unification:



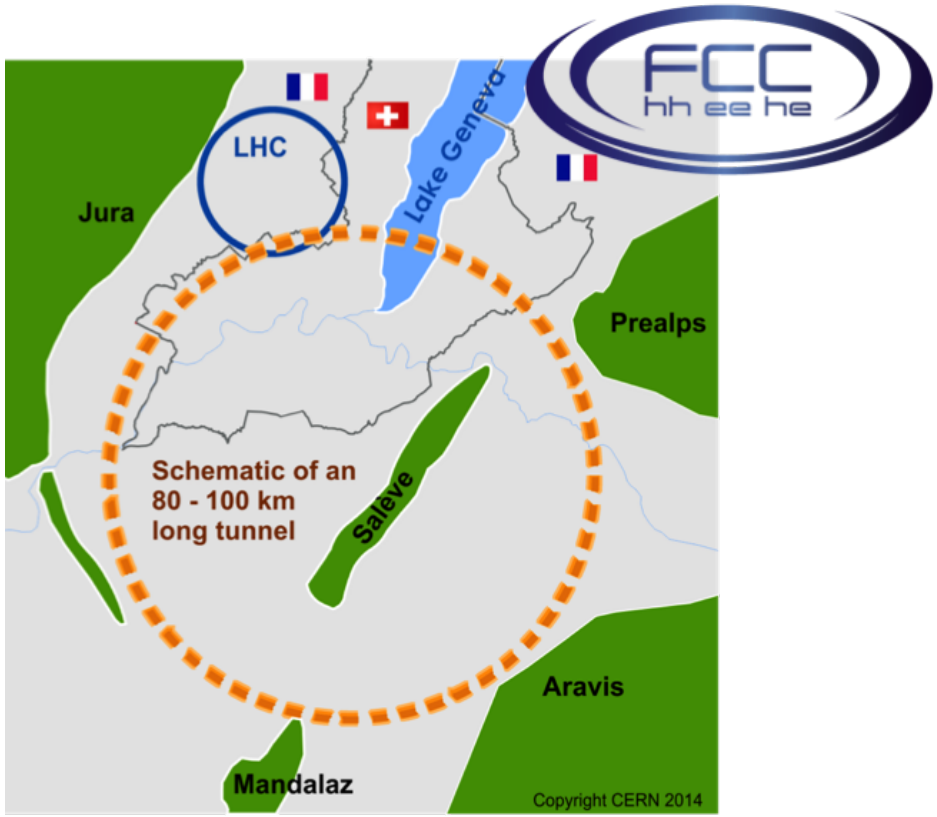
Les réponses se trouveront via l'expérience!

En cours:

- Satellite Planck (Fond diffus cosmologique)
- LHC (LHCb, Atlas, CMS, Alice)
- Les usines à mésons B (Belle II)

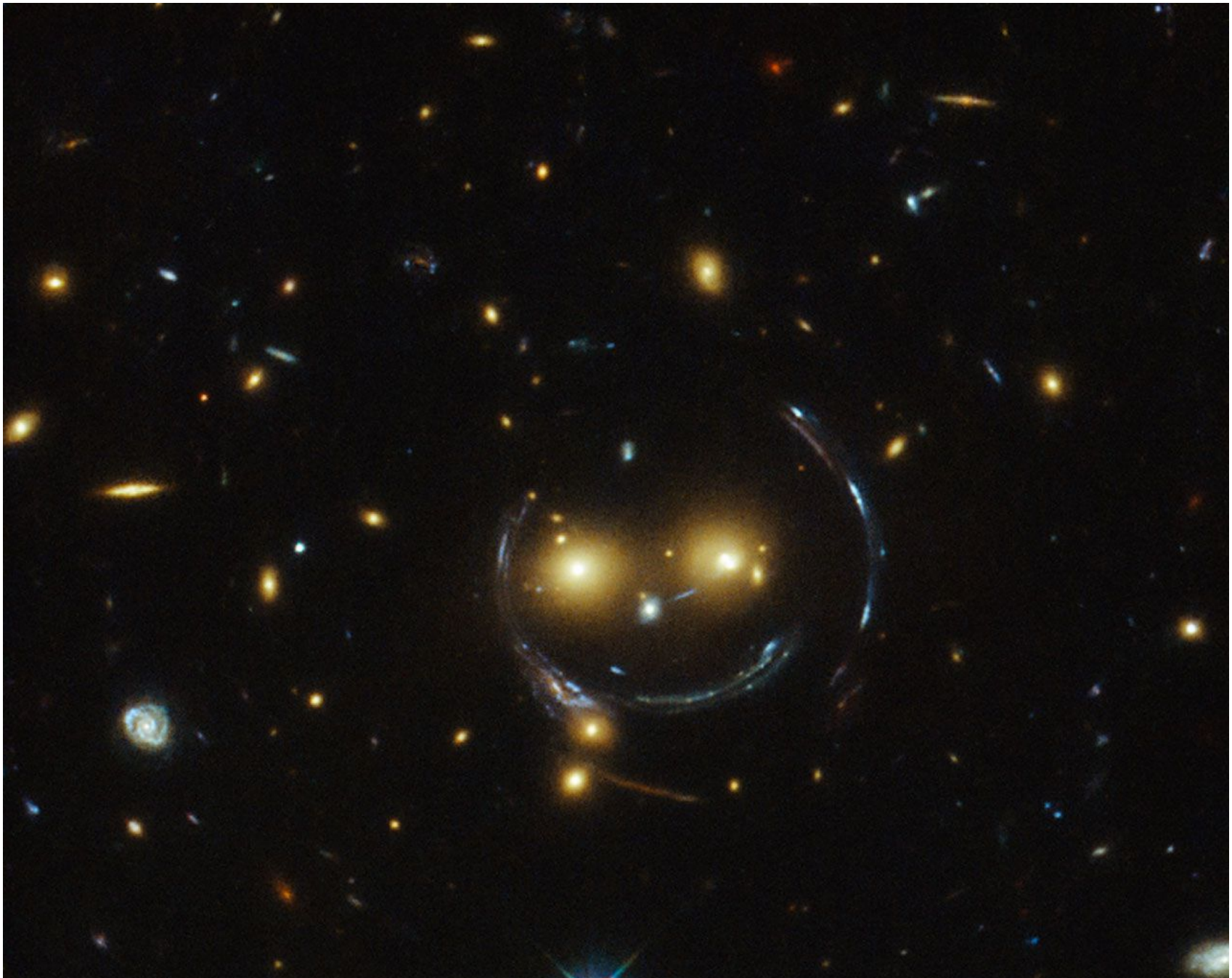
Futur:

- LSST
- FCC
- CLIC
- ILC



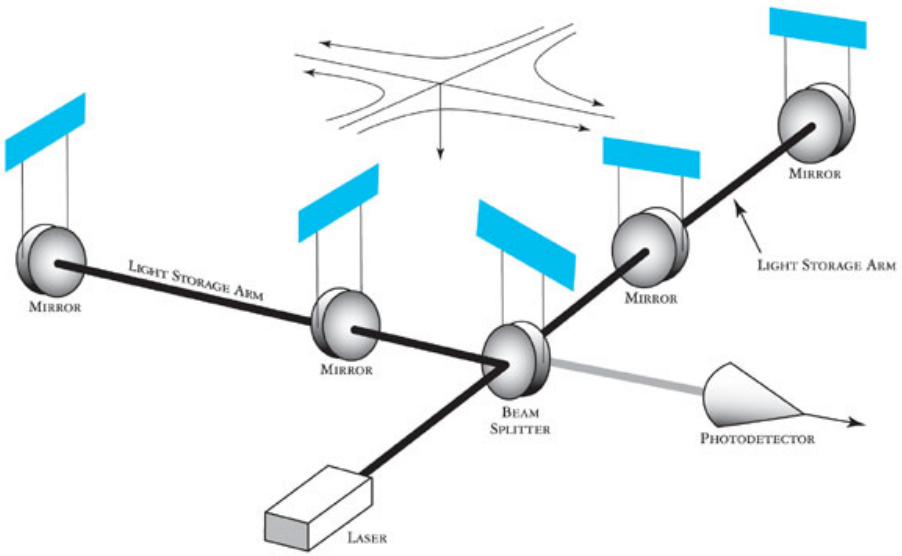
$\Rightarrow$ On est encore très loin d'avoir fini!!
LHCb et toutes les autres expériences apporteront une partie des réponses à ces mystères.
En attendant, la physique a besoin de nouveaux projets et a **besoin de nouveaux cerveaux: Vous !!!**

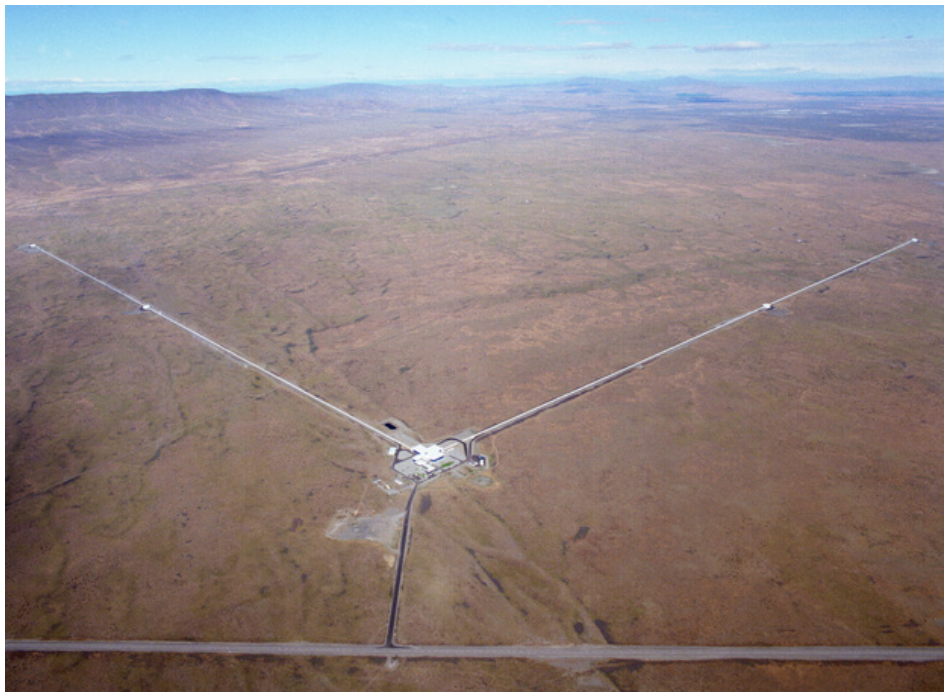
L’Univers vous sourit!

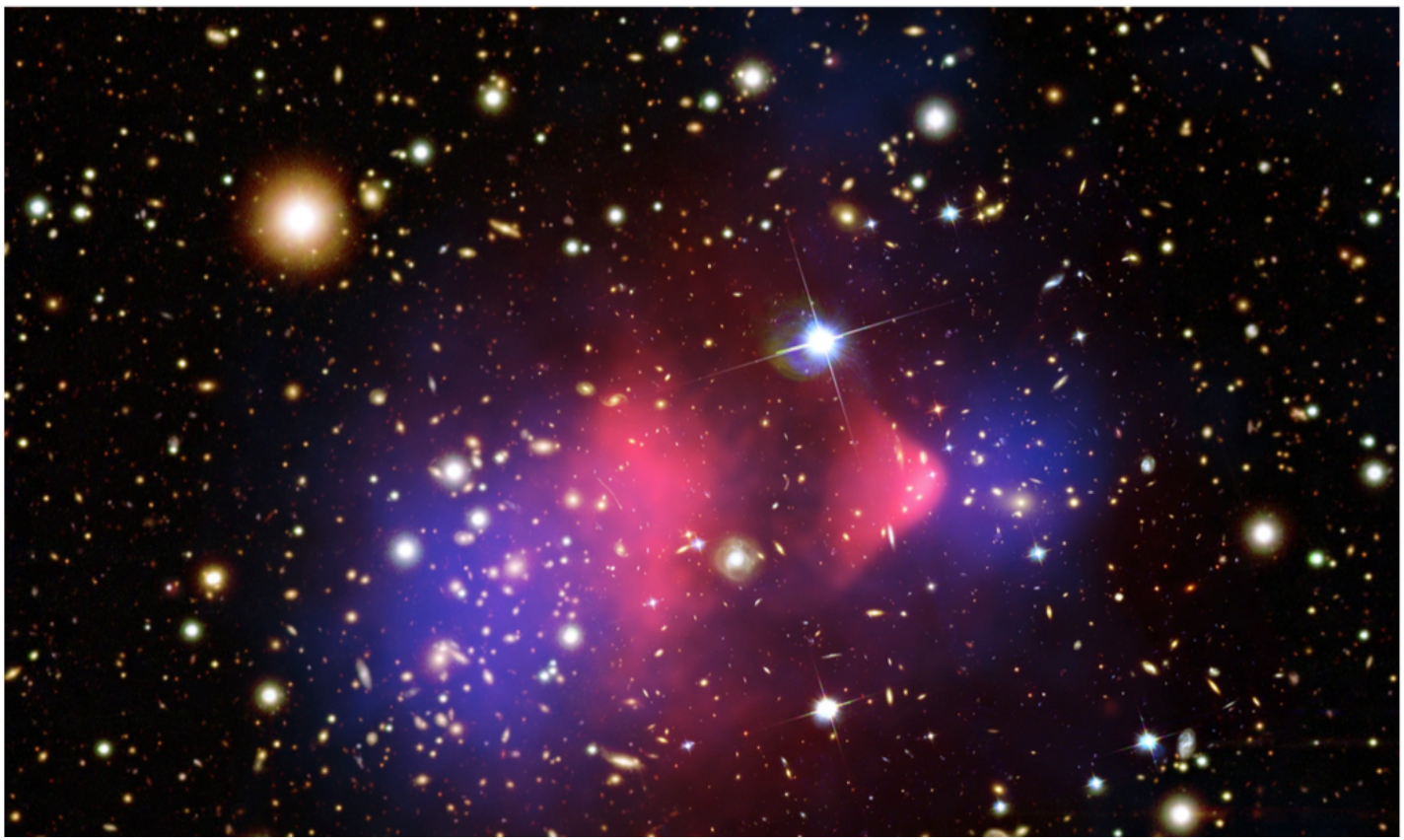


Backup

LIGO/VIRGO


Mirror
Light Storage Arm
Mirror
Beam Splitter
Laser
Mirror
Light Storage Arm
Photodetector



Matière noire, observation 3: Amas de la Balle

- Collision de deux amas de galaxies.
- Bleu: matière visible $\rightarrow$ pas beaucoup affectée.
- Rouge: matière gravitationelle $\rightarrow$ ralentie, affectée par la collision.