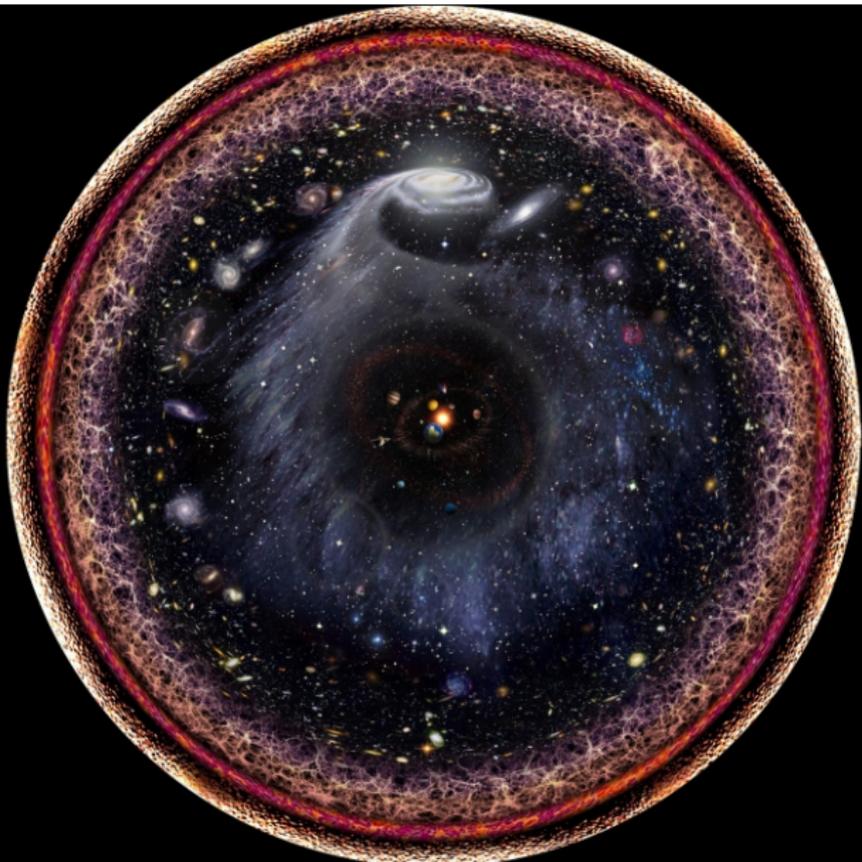


Les mystères de l'Univers



- But: expliquer/prédire des phénomènes observables afin de comprendre au maximum la réalité!
 - ⇒ une nouvelle théorie affine les résultats donnés par la précédente
- Outils: faire des mesures de paramètres physiques avec une certaine **erreur**
- Domaine de validité et d'applications:
 - en physique la théorie utilisée va dépendre de la **masse**, de la **vitesse**, de la **taille** et du **nombre de composants** du système étudié

- But: expliquer/prédire des phénomènes observables afin de comprendre au maximum la réalité!
 - ⇒ une nouvelle théorie affine les résultats donnés par la précédente
- Outils: faire des mesures de paramètres physiques avec une certaine **erreur**
- Domaine de validité et d'applications:
 - en physique la théorie utilisée va dépendre de la **masse**, de la **vitesse**, de la **taille** et du **nombre de composants** du système étudié
- Description de l'univers (physique fondamentale)
 - l'infiniment petit (**modèle standard**) et l'infiniment grand (**relativité générale d'Einstein**)

Quest-ce qu'on entend par mystère?

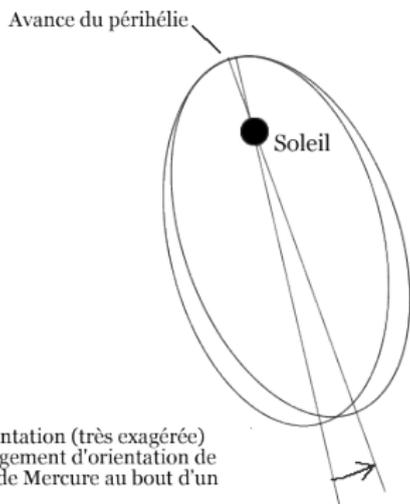
- 1 Une mesure expérimentale qui ne trouve pas d'explication dans la théorie
- 2 Une mesure expérimentale en conflit avec la prédiction théorique
- 3 Une prédiction théorique qui n'est pas (encore) mesurée expérimentalement

Les mystères résolus

1^{er} succès de la relativité générale

- Les origines du problème:

La trajectoire de Mercure autour du Soleil prédite par la théorie de la **gravité de Newton** est en désaccord avec la mesure

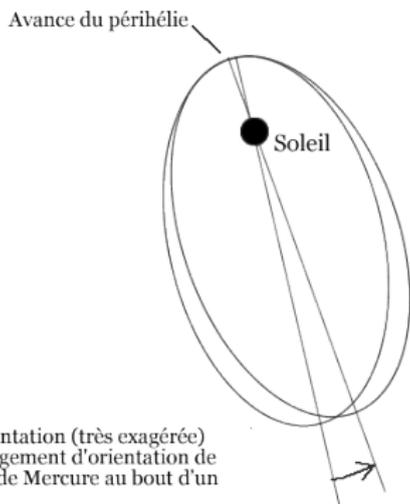


- $\phi_{\text{exp}} = (574.8 \pm 0.4)''/\text{sicle}$
 $\phi_{\text{Newton}} = (531.7 \pm 0.2)''/\text{sicle}$
- 1915: Einstein propose sa théorie de la **relativité générale** en faisant correspondre la nouvelle prédiction avec la mesure.

1^{er} succès de la relativité générale

- Les origines du problème:

La trajectoire de Mercure autour du Soleil prédite par la théorie de la **gravité de Newton** est en désaccord avec la mesure



- $\phi_{\text{exp}} = (574.8 \pm 0.4)''/\text{sicle}$
 $\phi_{\text{Newton}} = (531.7 \pm 0.2)''/\text{sicle}$

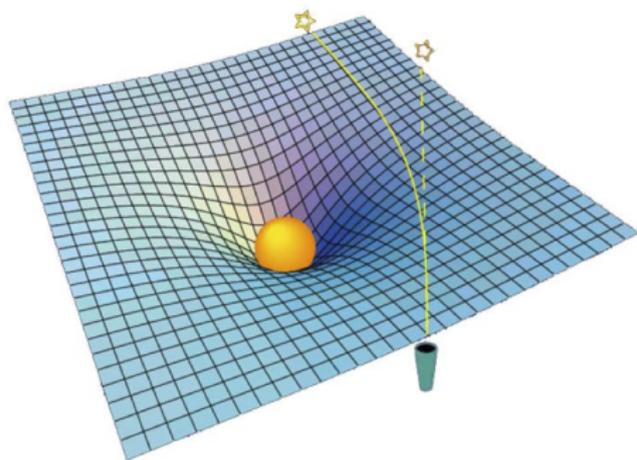
- 1915: Einstein propose sa théorie de la **relativité générale** en faisant correspondre la nouvelle prédiction avec la mesure.

- **Nouvelle théorie: nouvelles prédictions!**

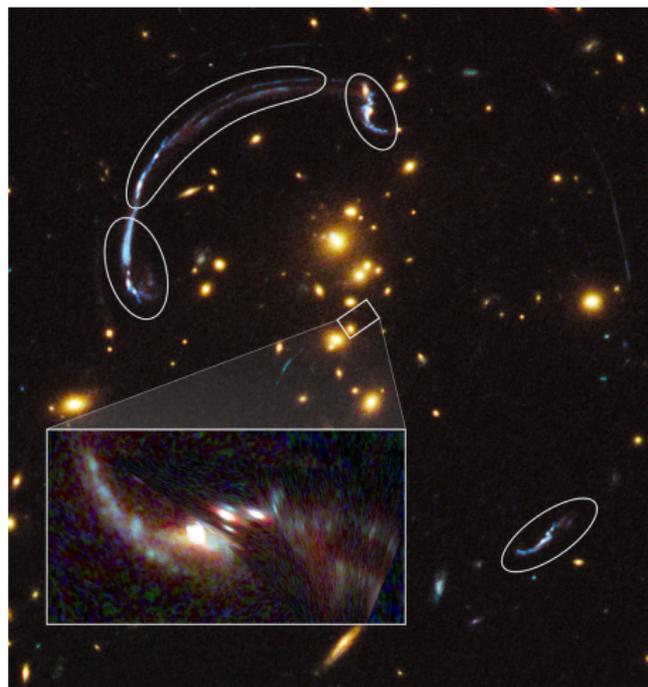
- Interaction entre deux objets massifs (Newton)
- Déformation de l'espace-temps par un objet massif (Einstein)

Déviatoin de la lumière (1919): lentille gravitationnelle

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

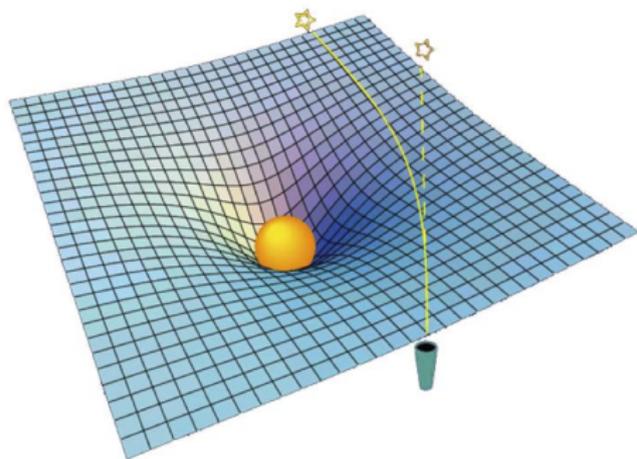


2^{me} succès de la relativité générale

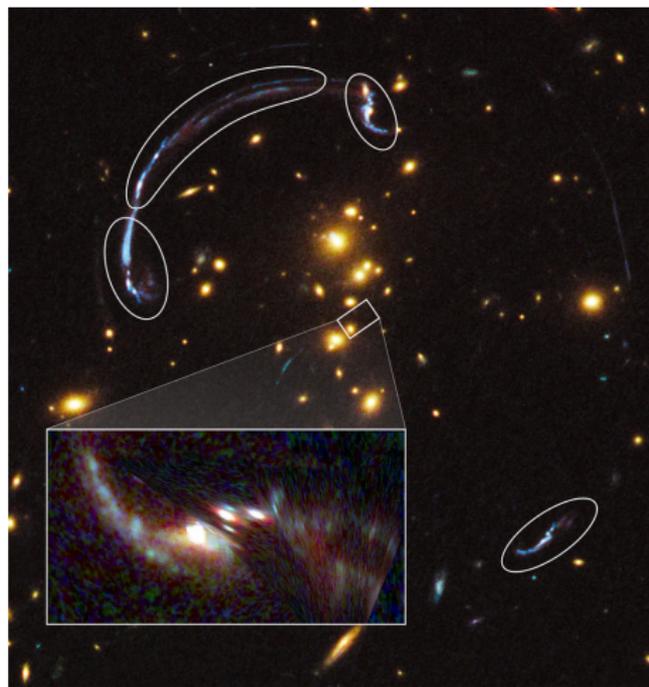


Déviatoin de la lumière (1919): lentille gravitationnelle

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



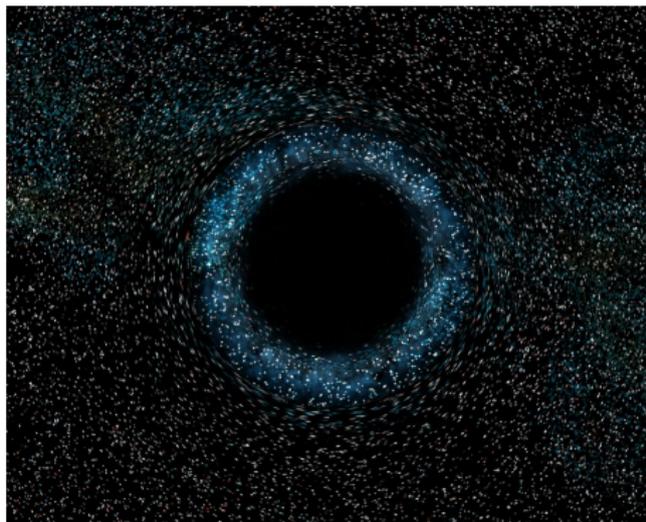
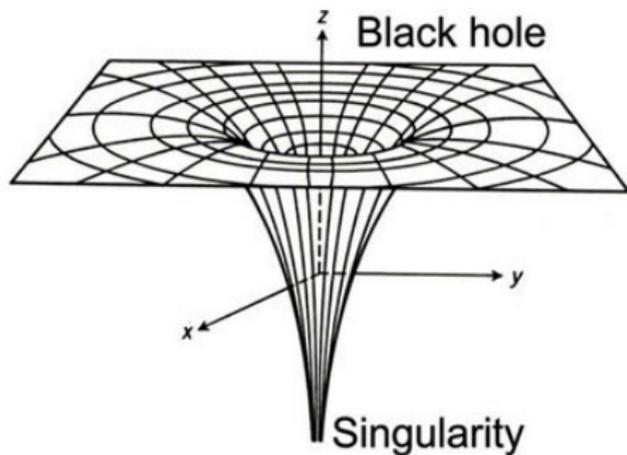
2^{me} succès de la relativité générale



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

Trou noir

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



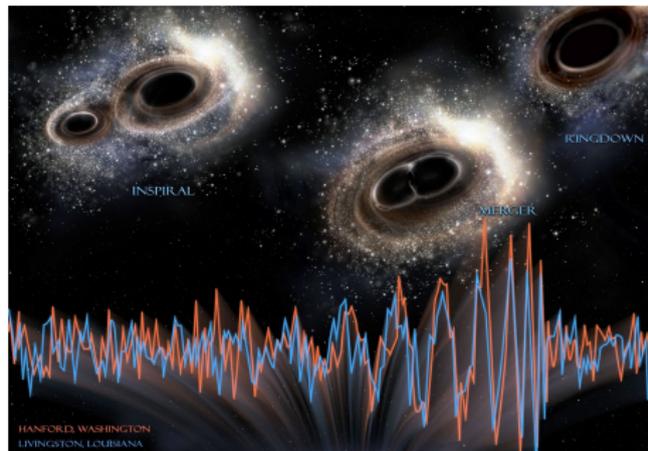
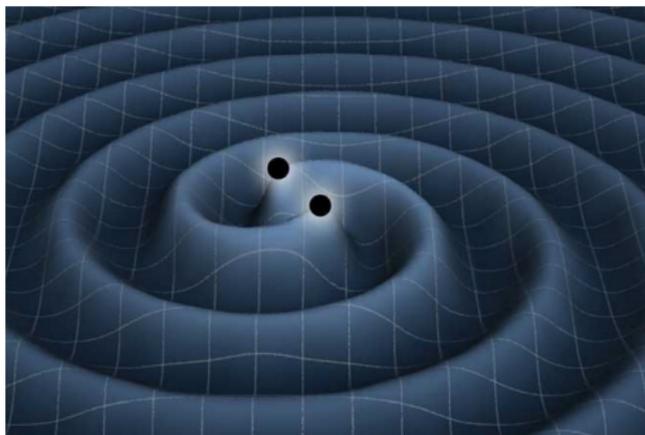
- observation indirecte car le trou noir n'émet rien dans le spectre électromagnétique (selon la relativité générale)

Une dernière prédiction

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

Une dernière prédiction

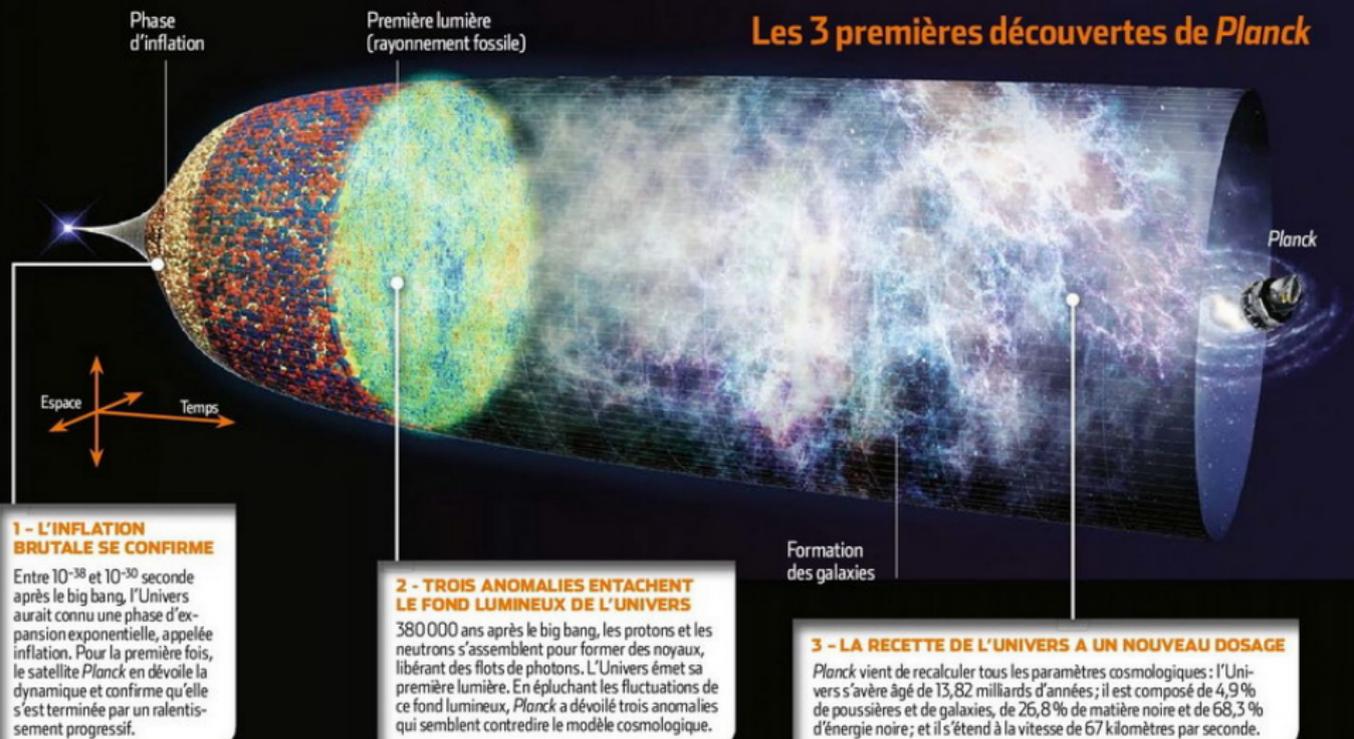
- Newton: interaction instantannée
- Einstein: propagation de la déformation de l'espace-temps
 - ⇒ présence d'**onde gravitationnelle**
- Prix nobel de physique 1993: observation indirecte à l'aide d'objets astrophysiques (système de pulsars binaire)
- 11 Février 2016! Première observation directe



Les mystères actuels

L'origine de l'Univers: le big bang

Les 3 premières découvertes de Planck



1 - L'INFLATION BRUTALE SE CONFIRME

Entre 10^{-38} et 10^{-30} seconde après le big bang, l'Univers aurait connu une phase d'expansion exponentielle, appelée inflation. Pour la première fois, le satellite *Planck* en dévoile la dynamique et confirme qu'elle s'est terminée par un ralentissement progressif.

2 - TROIS ANOMALIES ENTACHENT LE FOND LUMINEUX DE L'UNIVERS

380 000 ans après le big bang, les protons et les neutrons s'assemblent pour former des noyaux, libérant des flots de photons. L'Univers émet sa première lumière. En épluchant les fluctuations de ce fond lumineux, *Planck* a dévoilé trois anomalies qui semblent contredire le modèle cosmologique.

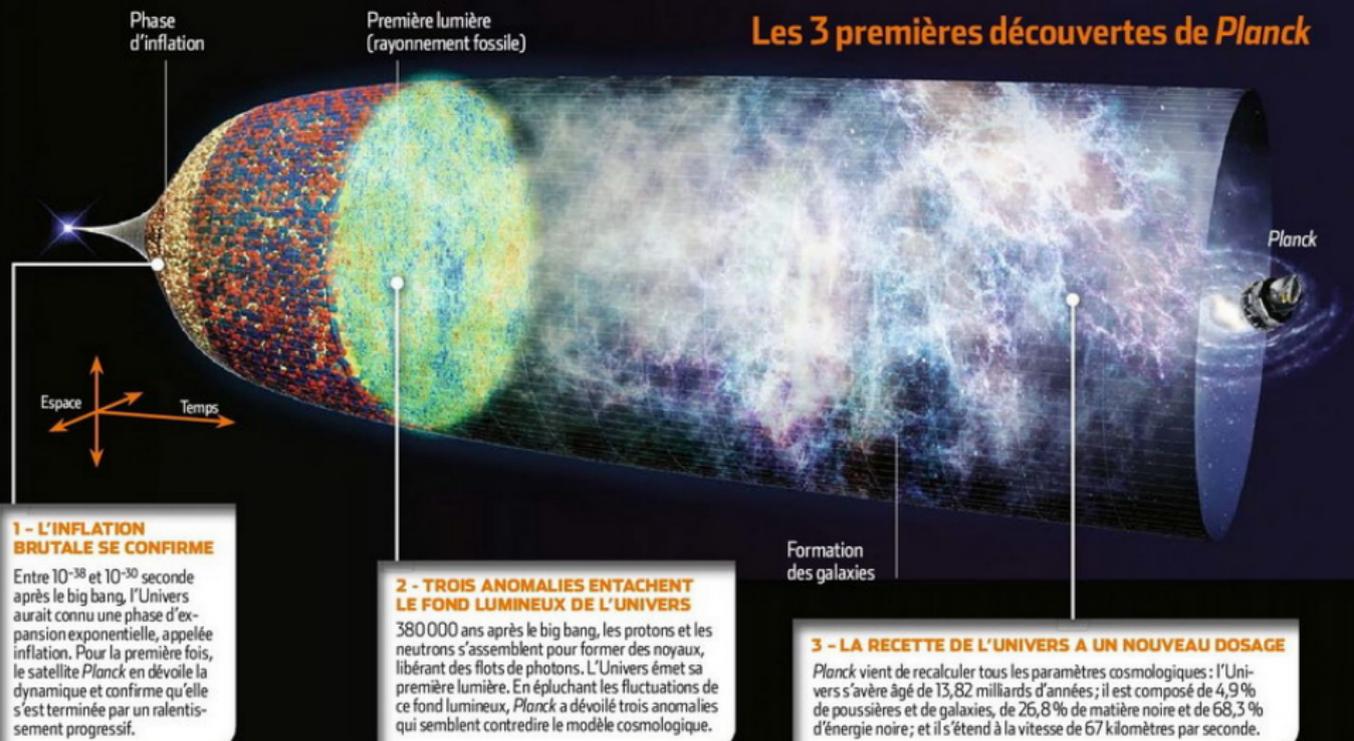
Formation des galaxies

3 - LA RECETTE DE L'UNIVERS A UN NOUVEAU DOSAGE

Planck vient de recalculer tous les paramètres cosmologiques : l'Univers s'avère âgé de 13,82 milliards d'années ; il est composé de 4,9 % de poussières et de galaxies, de 26,8 % de matière noire et de 68,3 % d'énergie noire ; et il s'étend à la vitesse de 67 kilomètres par seconde.

L'origine de l'Univers: le big bang

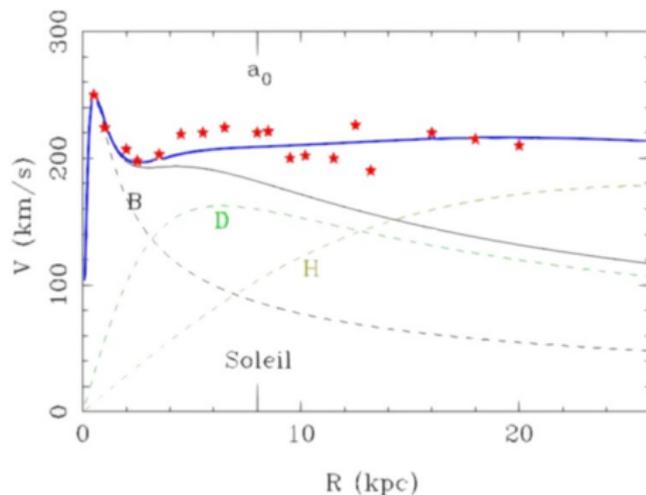
Les 3 premières découvertes de Planck



- on peut mesurer la **répartition** des masses autour de nous et la **distance** qui nous sépare des galaxies

Mystérieux composants

- 1) On observe une rotation des galaxies plus grande que prévue
⇒ existence d'une matière non visible: **matière noire**



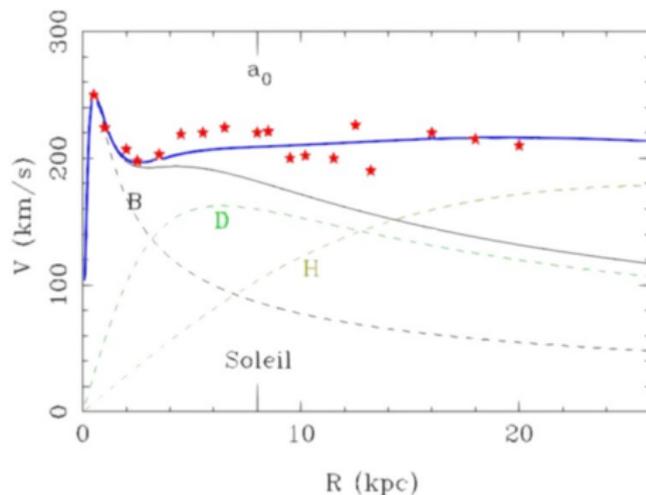
Mystérieux composants

- 1) On observe une rotation des galaxies plus grande que prévue

⇒ existence d'une matière non visible: **matière noire**

- 2) On observe que les galaxies s'éloignent de nous

⇒ l'univers est en expansion



Mystérieux composants

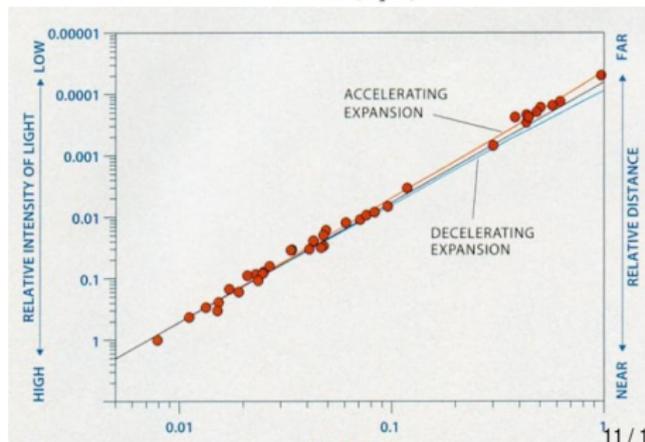
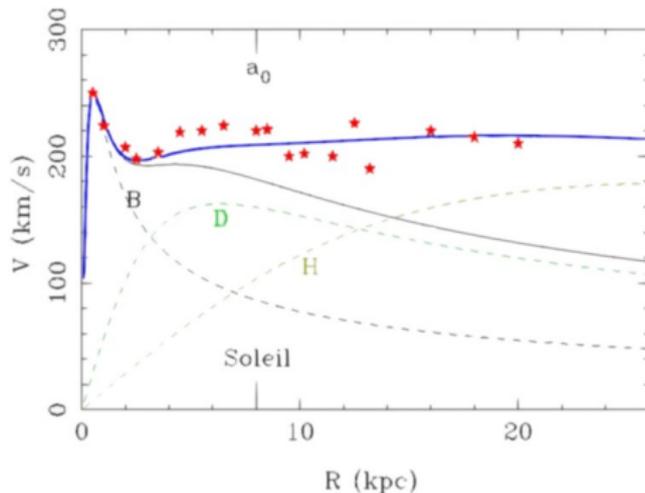
- 1) On observe une rotation des galaxies plus grande que prévue
⇒ existence d'une matière non visible: **matière noire**

- 2) On observe que les galaxies s'éloignent de nous

⇒ l'univers est en expansion

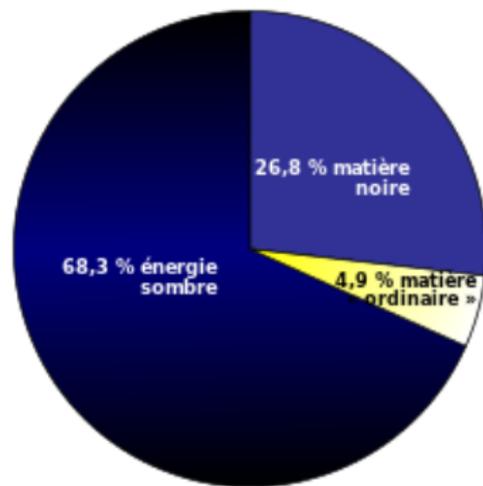
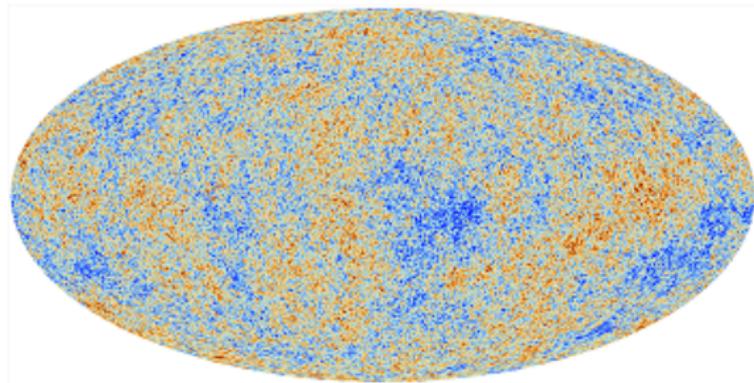
- 3) ... en s'accéléralant!

⇒ existence d'une force répulsive: **énergie sombre**



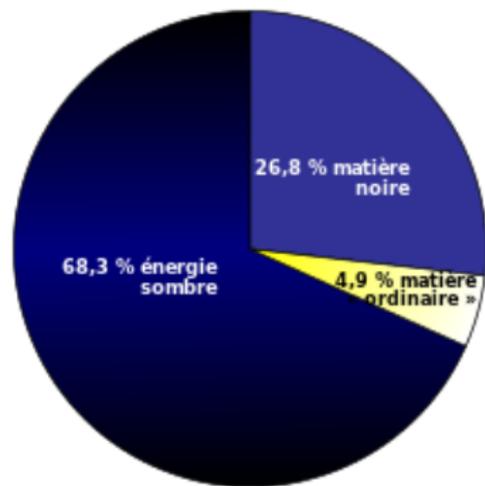
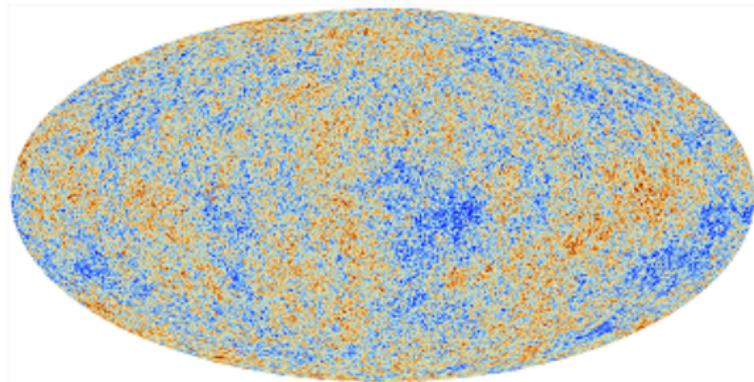
Constituants de l'Univers

- A l'aide du satellite Planck et de l'étude du **fond diffus cosmologique**, on obtient le bilan énergétique de l'univers suivant:



Constituants de l'Univers

- A l'aide du satellite Planck et de l'étude du **fond diffus cosmologique**, on obtient le bilan énergétique de l'univers suivant:



⇒ 95.1% de notre Univers dont on ne sait rien!!

La matière et l'antimatière dans l'univers

- Créées en quantité **égale** lors du big bang,
- Annihilation de la matière et de l'antimatière:
 $q + \bar{q} \rightarrow \gamma \gamma$
- La matière est favorisée dans ce processus à l'aide d'une **asymétrie**,
- Plus (ou peu) d'antimatière dans l'univers.

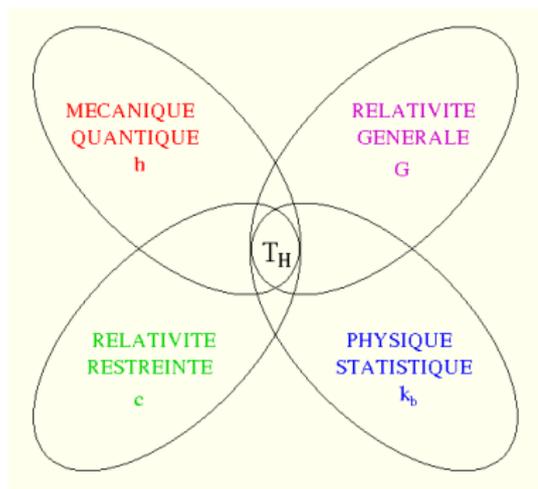
La matière et l'antimatière dans l'univers

- Créées en quantité **égale** lors du big bang,
 - Annihilation de la matière et de l'antimatière:
 $q + \bar{q} \rightarrow \gamma \gamma$
 - La matière est favorisée dans ce processus à l'aide d'une **asymétrie**,
 - Plus (ou peu) d'antimatière dans l'univers.
- l'asymétrie fournie par le modèle standard n'est pas suffisante pour expliquer la disparition de l'antimatière!

Les mystères bonus

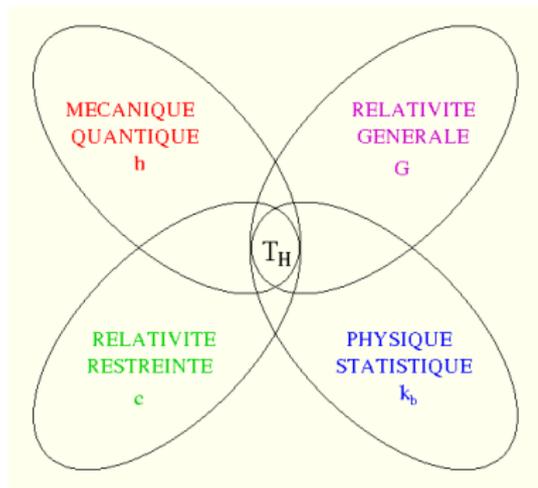
Les recherches actuelles et futures

- expérimentales:
 - rayonnement de Hawking
 - détecter de nouvelles particules
 - mesurer la masse des neutrinos
- théoriques:
 - problème des singularités et des infinis
 - comment remettre l'observateur au sein de la théorie
 - unification des forces



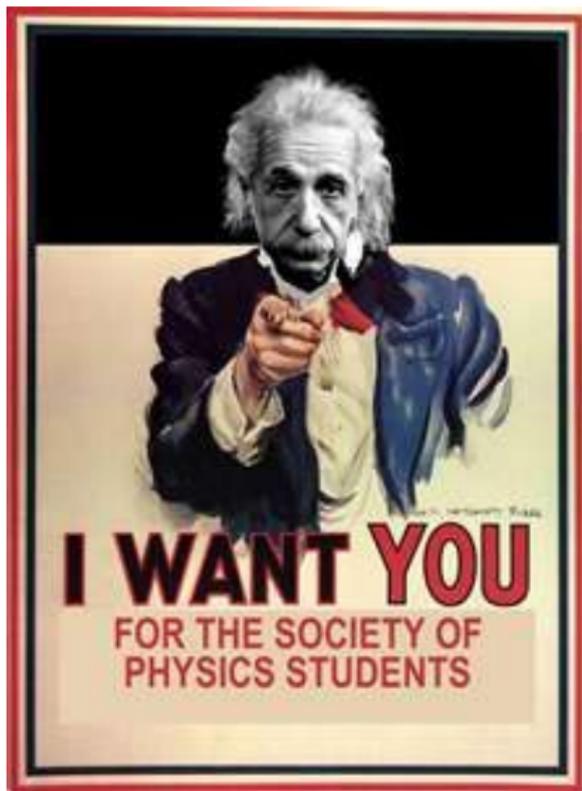
Les recherches actuelles et futures

- expérimentales:
 - rayonnement de Hawking
 - détecter de nouvelles particules
 - mesurer la masse des neutrinos
- théoriques:
 - problème des singularités et des infinis
 - comment remettre l'observateur au sein de la théorie
 - unification des forces



⇒ **On est encore très loin d'avoir fini!!**

LHCb et toutes les autres expériences autour du monde
n'apporteront qu'une infime partie des réponses



Backup

LIGO/VIRGO

