

Institut national de physique nucléaire et de physique des particules



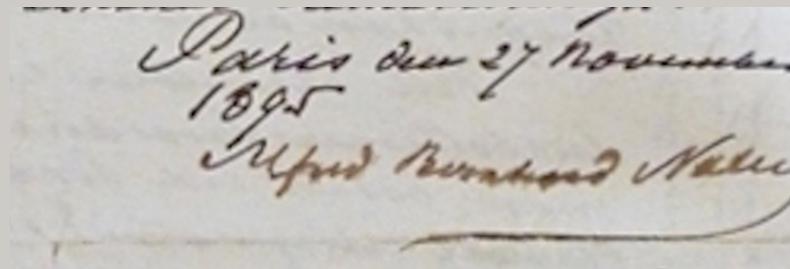
10 ans de (quelques) Prix Nobel

Ursula Bassler

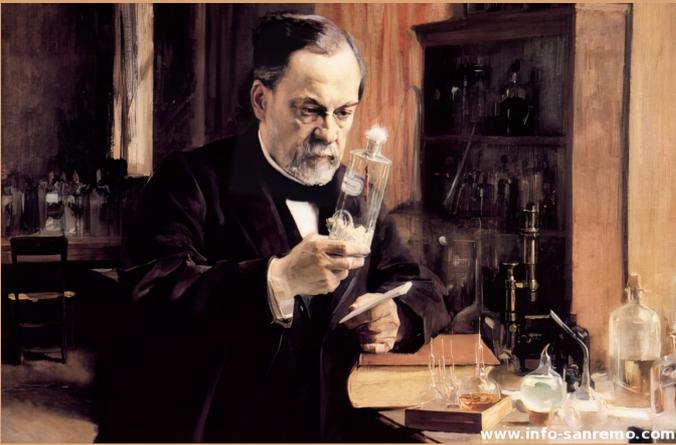
Directrice adjointe scientifique IN2P3

Le testament d'Alfred Nobel

Le capital, converti en valeurs sûres par mes exécuteurs testamentaires, constitue un fonds dont les intérêts sont distribués annuellement sous forme de prix à ceux qui, au cours de l'année précédente, ont le plus profité à l'humanité. Les intérêts seront divisés en cinq parts égales et distribués comme suit : une partie à la personne qui a fait la découverte ou l'invention la plus importante dans le domaine de la physique ; une partie à la personne qui a fait la découverte ou l'amélioration la plus importante dans le domaine de la chimie ; une partie à la personne qui a fait la découverte la plus importante dans le domaine de la physiologie ou de la médecine ; une partie à la personne qui, dans le domaine de la littérature, a produit l'œuvre la plus remarquable dans une direction idéaliste ; et une partie à la personne qui a fait le plus ou le mieux pour promouvoir la fraternité entre les nations, l'abolition ou la réduction des armées permanentes, et l'établissement et la promotion des congrès de la paix.



*Paris le 27 novembre
1895
Alfred Bernhard Nobel*

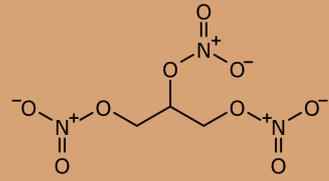


Qui était Alfred Nobel?

1833 (Suède) – 1896 (Italie)

- Chimiste: recherches autour des explosifs - dépositaire de 355 brevets
- Industriel (AkzoNobel) et fabricant d'armes

- 1850: Etudes à Paris avec Ascanio Sobrero : inventeur de la nitroglycérine
- Explosion en 1864 dans l'usine de Heleneborg : cinq morts dont Emil Nobel
- Interdiction de faire des expériences dans des zones urbaines:
 - Laboratoires en Suède, Allemagne et en France (Sevrans: poudrière impériale)
- 1866: invention de la dynamite



- 1888: nécrologie prématuré à la mort de son frère aîné (attention légende!)

« **Le marchand de la mort est mort.**

Le Dr Alfred Nobel, qui fit fortune en trouvant le moyen de tuer plus de personnes plus rapidement que jamais auparavant, est mort hier. »



Le Prix Nobel Nobel

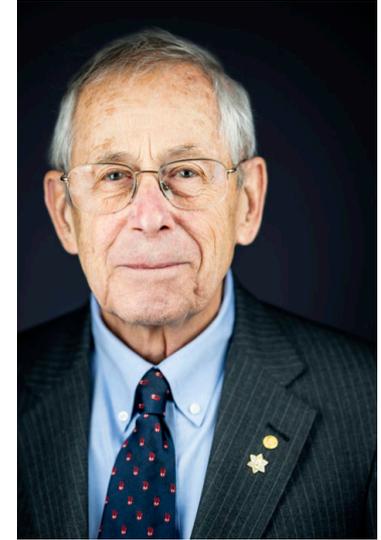
Fondation Nobel: établit en 1900

- Gère le fond Nobel: \approx 500 M€
 - Président nommé par le roi de Suède
 - Pas plus de 2 travaux et 3 personnes (sauf Paix)
 - Pas de Prix post-hume
- Règles de la fondation

Désignation des lauréats: Comités Nobel en physique

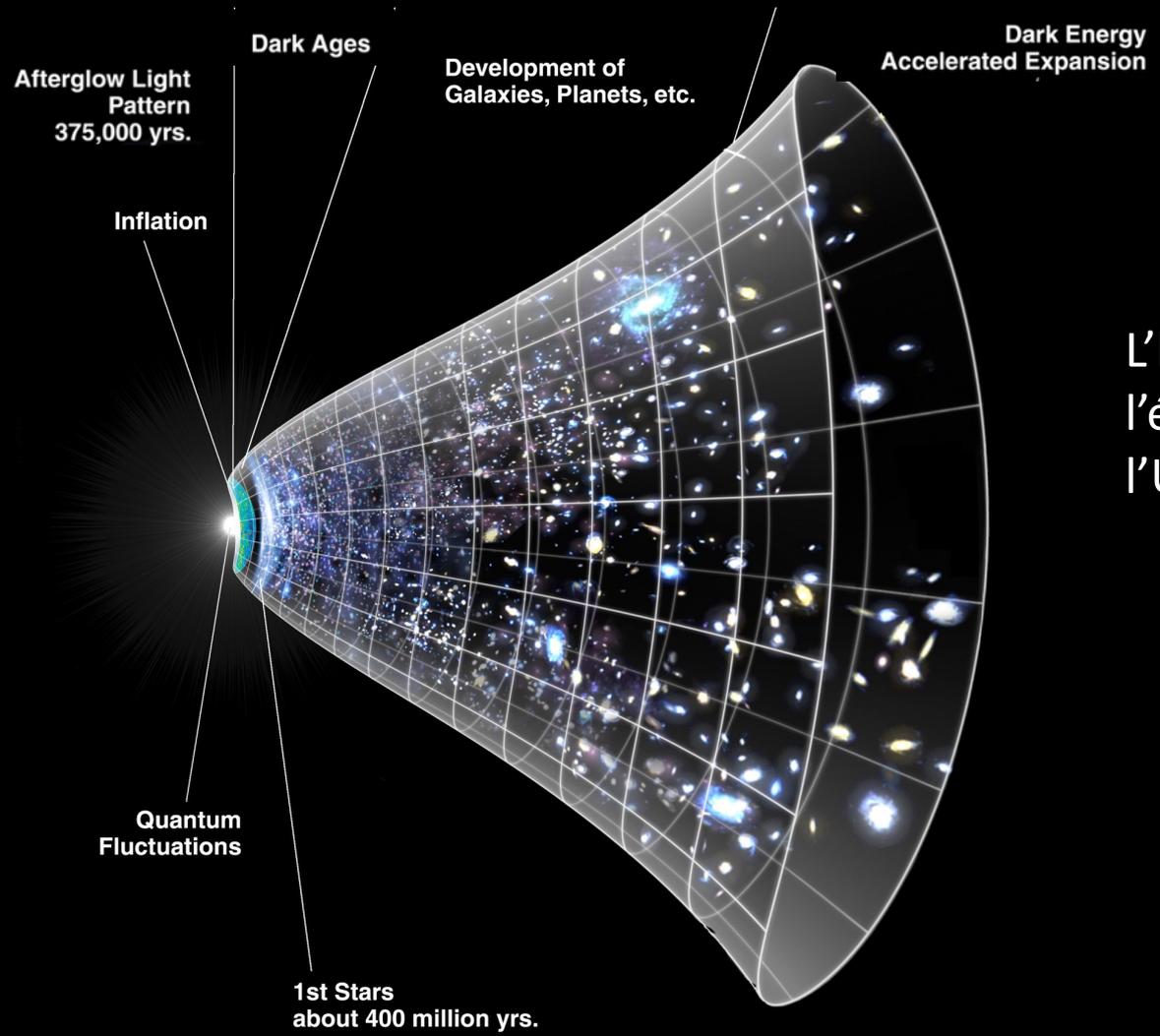
- 5 membres de l'académie des Sciences Royale de Suède, désigné pour une durée de 3 ans-
 - Sollicite des nominations auprès : Membres de l'académie des sciences suédoise, Comité Nobel, Lauréats, Professeurs de physique en Suède, Danemark, Finlande, Islande et Norvège, et l'Institute Royal de Stockholm, Professeurs d'Universités ou Écoles internationales : en tout environ 3000 courriers !
- 250-350 nominations reçues chaque année
- Établissement de la liste finale avec cinq propositions : tenue secrète pendant 50 ans
- Vote en octobre à l'Académie par simple majorité : annonce du prix





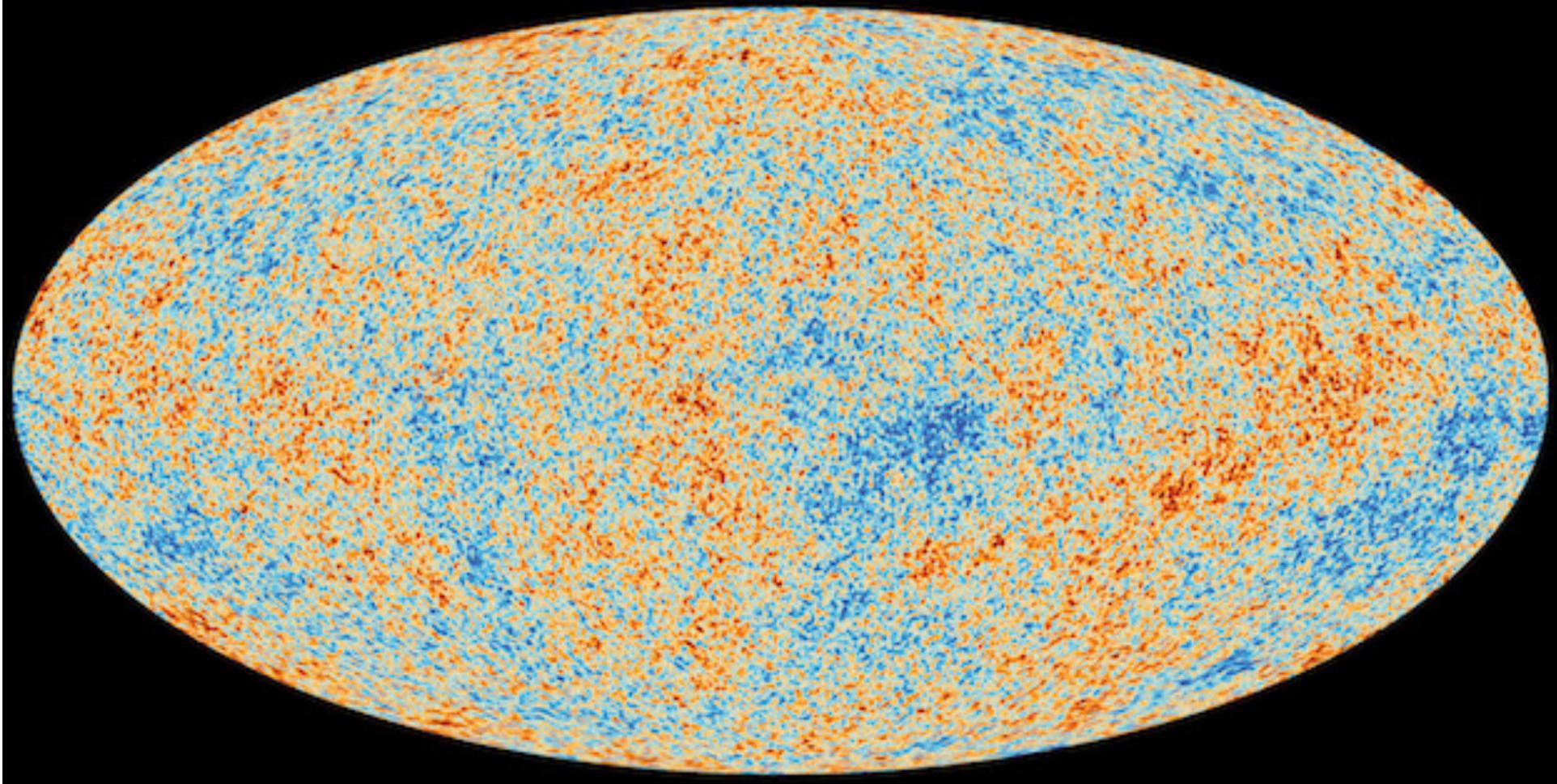
« Pour des découvertes théoriques en cosmologie physique. »

Cosmologie physique

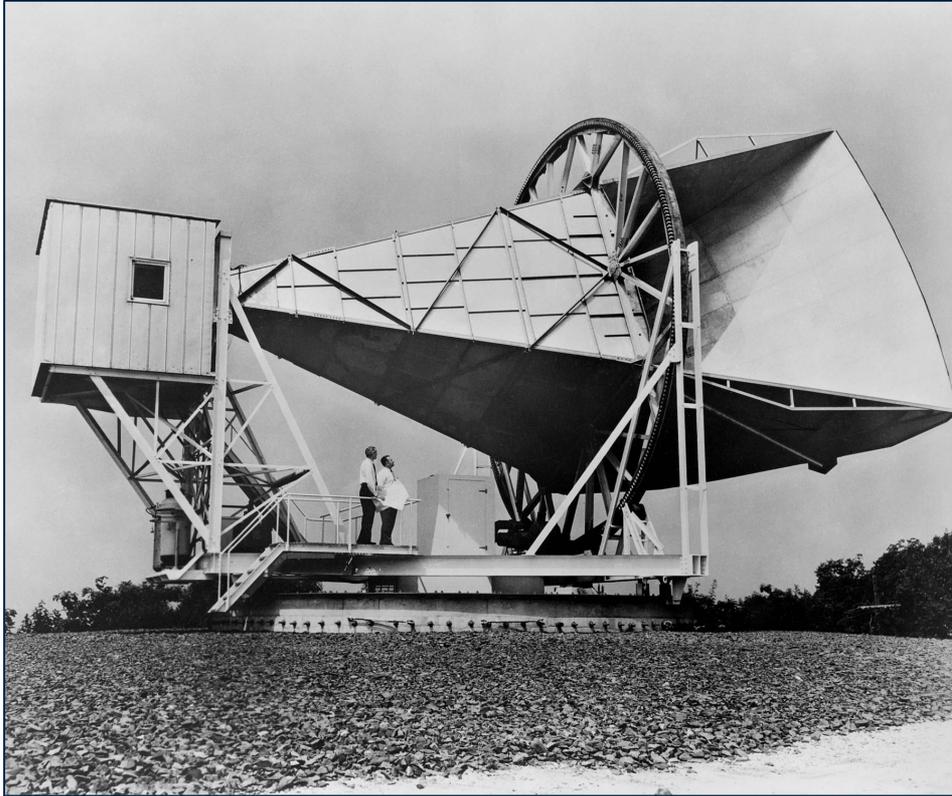


L'histoire et l'évolution de l'Univers

CMB: Fond Diffus Cosmologique



CMB: La découverte 1965



Découverte du CMB : rayonnement d'un corps noir en
→ Univers est fermé et a débuté avec une singularité

COSMIC BLACK-BODY RADIATION*

One of the basic problems of cosmology is the singularity characteristic of the familiar cosmological solutions of Einstein's field equations. Also puzzling is the presence of matter in excess over antimatter in the universe, for baryons and leptons are thought to be conserved. Thus, in the framework of conventional theory we cannot understand the origin of matter or of the universe. We can distinguish three main attempts to deal with these problems.

R. H. DICKE
P. J. E. PEEBLES
P. G. ROLL
D. T. WILKINSON

May 7, 1965
PALMER PHYSICAL LABORATORY
PRINCETON, NEW JERSEY

A MEASUREMENT OF EXCESS ANTENNA TEMPERATURE AT 4080 Mc/s

Measurements of the effective zenith noise temperature of the 20-foot horn-reflector antenna (Crawford, Hogg, and Hunt 1961) at the Crawford Hill Laboratory, Holmdel, New Jersey, at 4080 Mc/s have yielded a value about 3.5° K higher than expected. This excess temperature is, within the limits of our observations, isotropic, unpolarized, and free from seasonal variations (July, 1964–April, 1965). A possible explanation for the observed excess noise temperature is the one given by Dicke, Peebles, Roll, and Wilkinson (1965) in a companion letter in this issue.

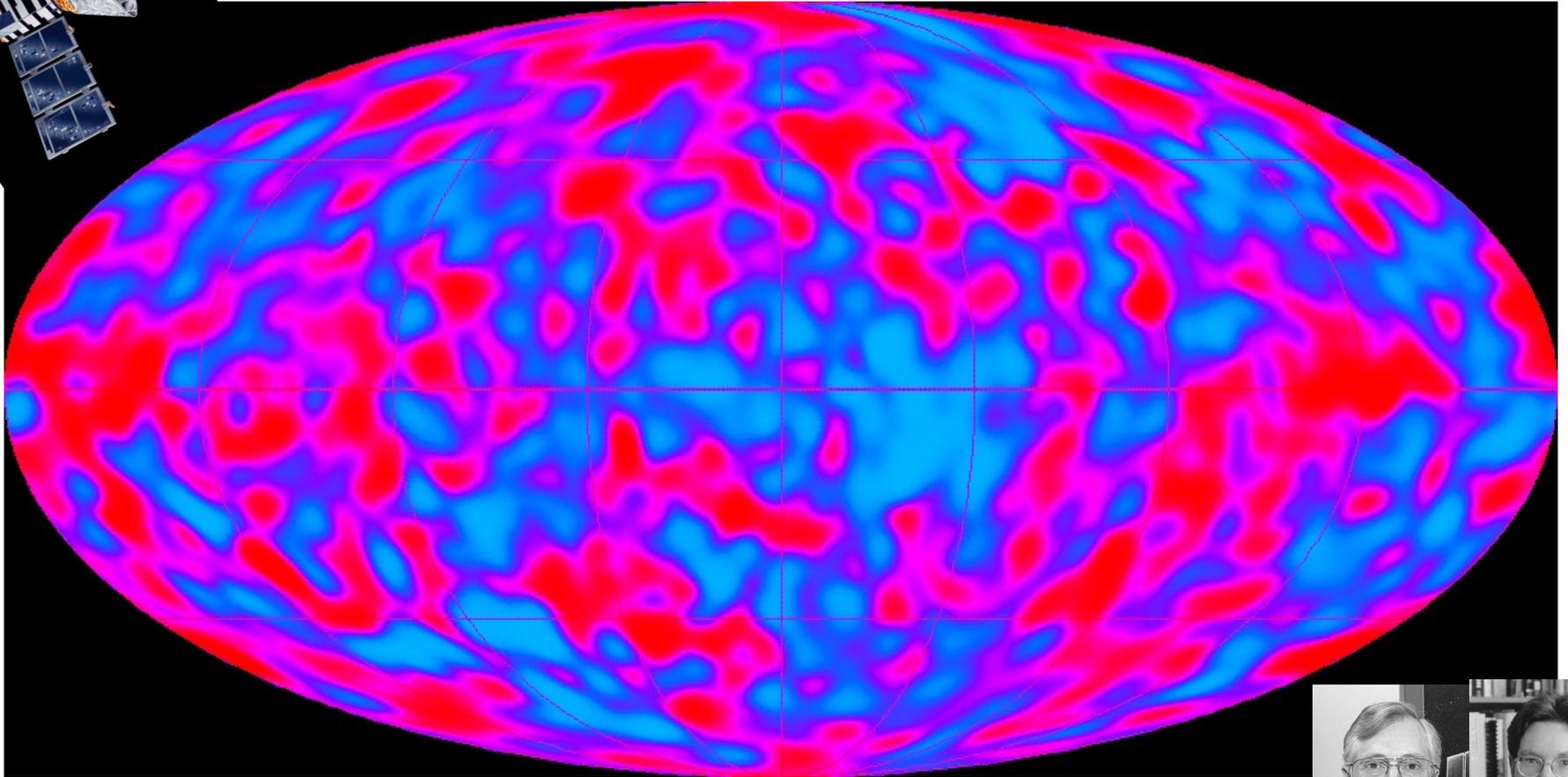
A. A. PENZIAS
R. W. WILSON

May 13, 1965
BELL TELEPHONE LABORATORIES, INC
CRAWFORD HILL, HOLMDEL, NEW JERSEY

→ **Prix Nobel 1978:**
« Pour leur découverte du fond cosmologique de rayonnement micro-onde. »



COBE - Cosmic Background Explorer : 1989-1993

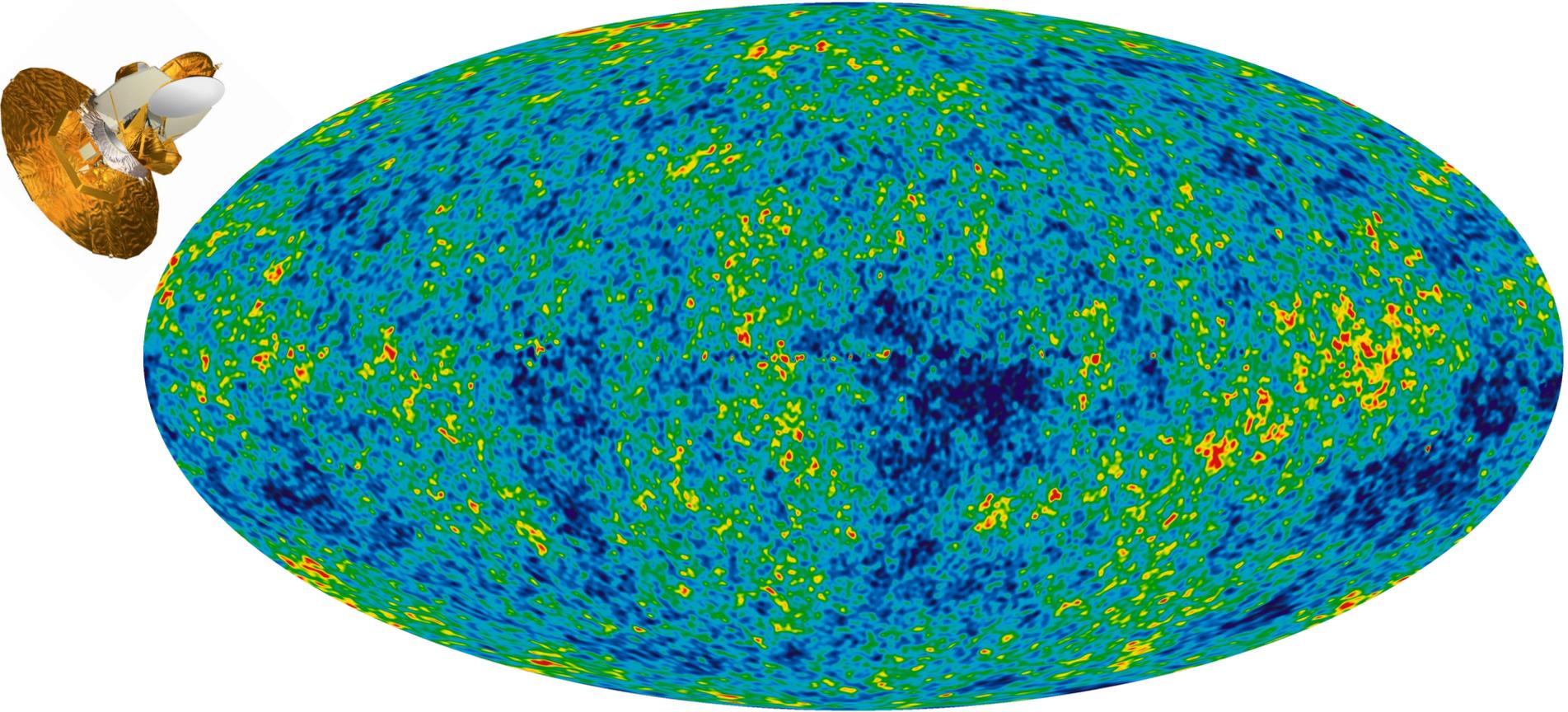


Prix Nobel 2006 John Mather et George Smoot :

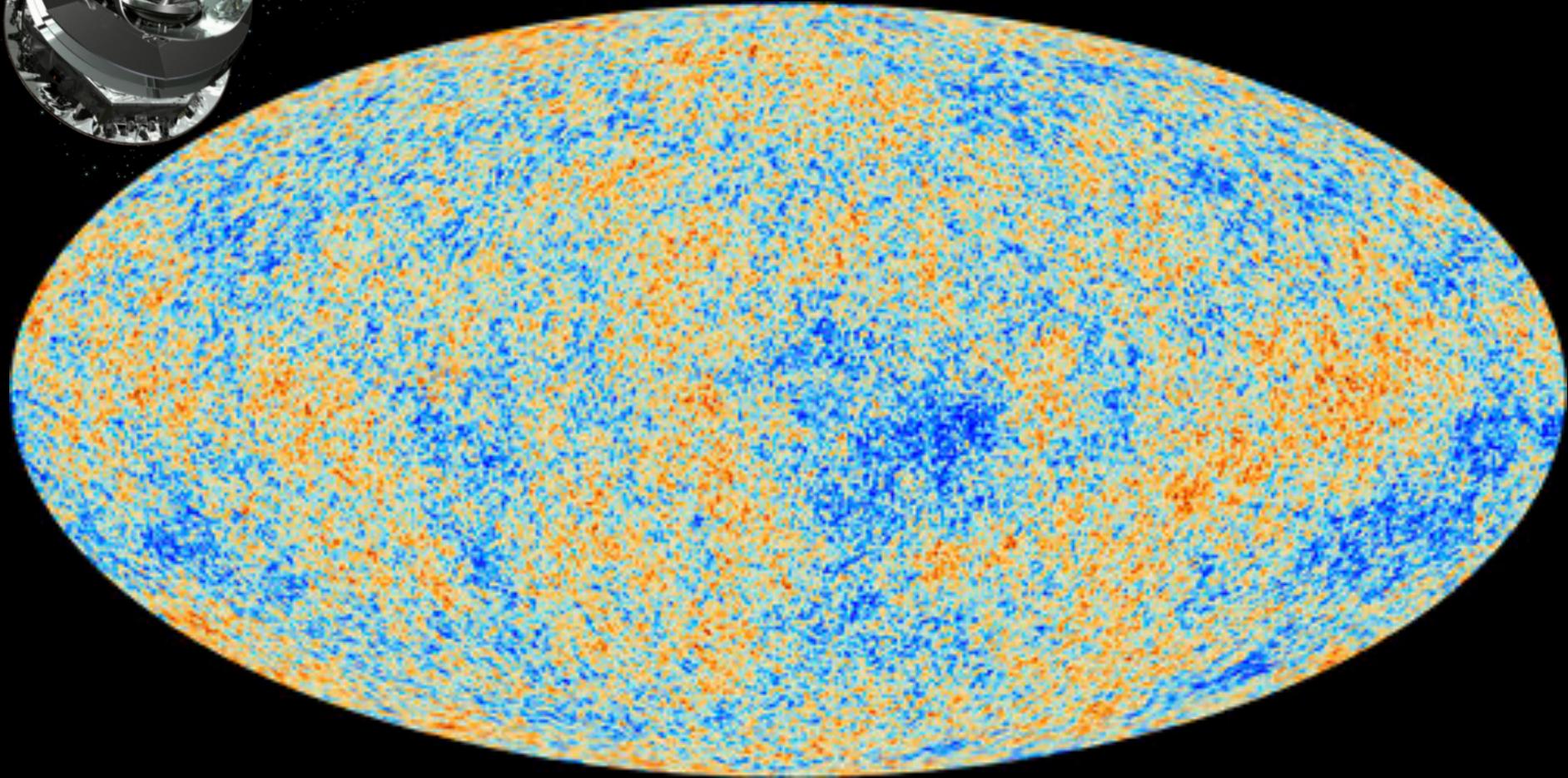
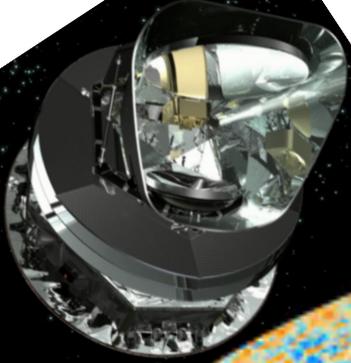
« Pour leur découverte de la forme en corps noir du spectre, et des anisotropies, du fond cosmologique de rayonnement micro-ondes. »



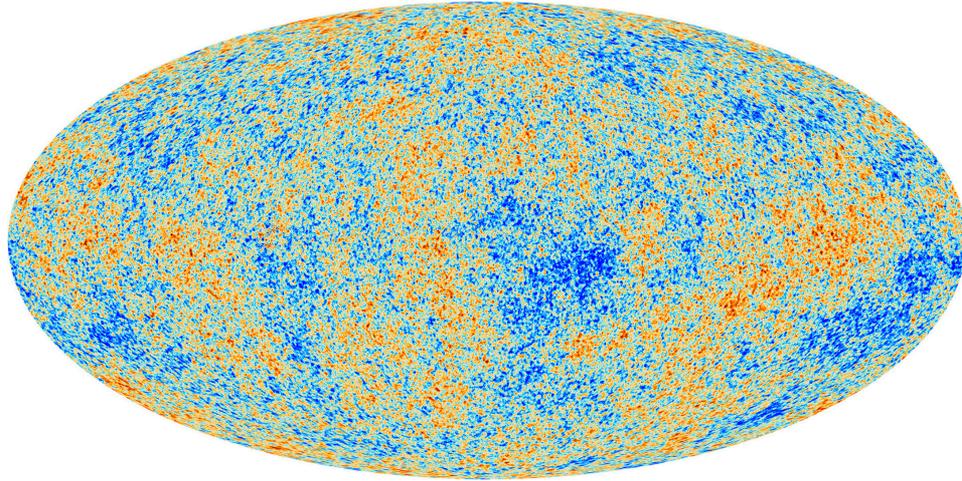
WMAP - Wilkinson Microwave Anisotropy Probe: 2001-2010



Planck : 2009 - 2013



CMB : qu'est-ce qu'on a appris ?

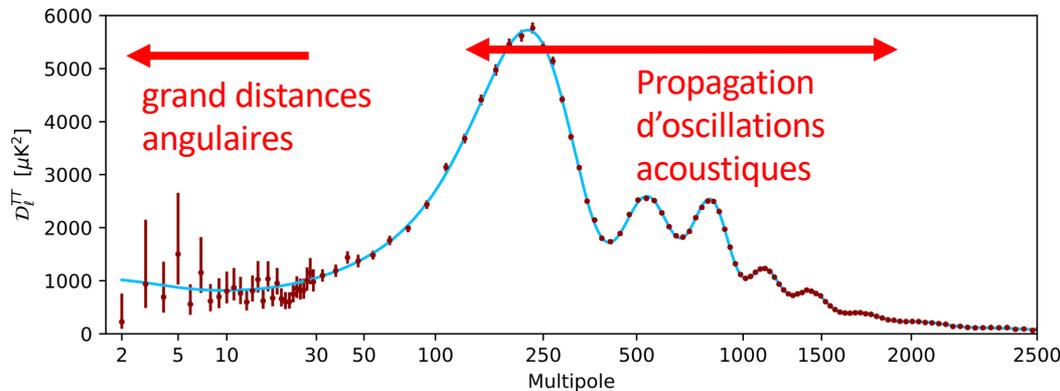


Température du rayonnement fossile: 2,7K
avec des anisotropies de $\approx 0,0001$

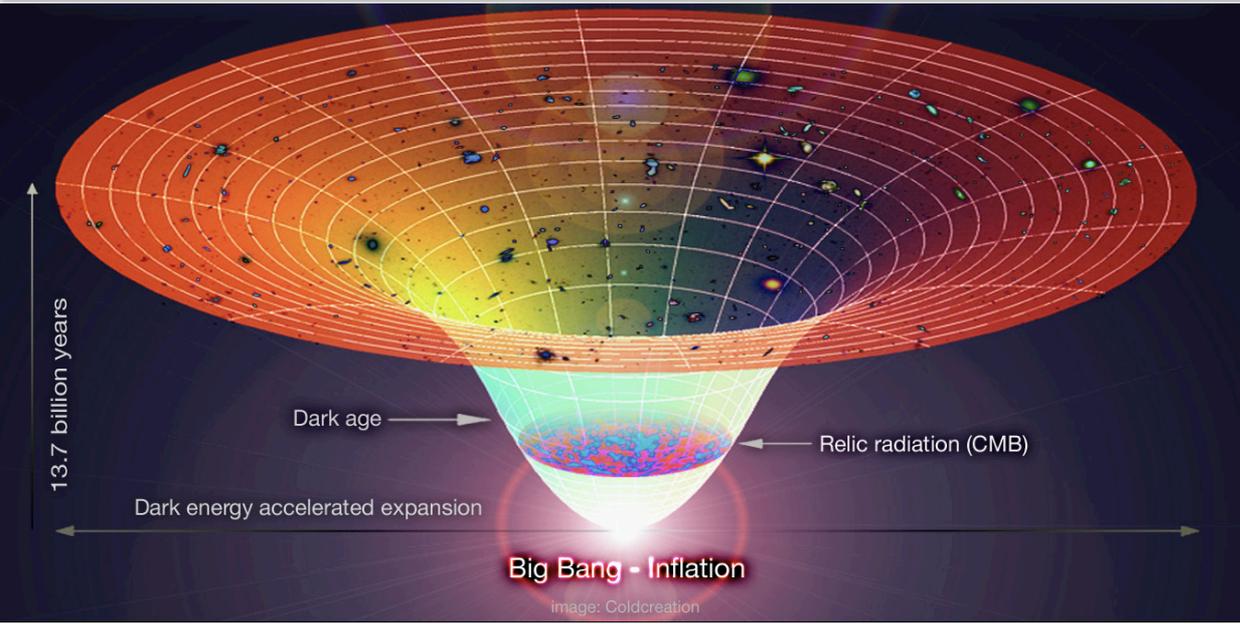
- Homogénéité de l'Univers
- causalité entre des régions trop éloignées
- Inflation cosmique: l'univers s'étend exponentiellement à une vitesse supérieur de celle de la lumière

Simple modèle d'inflation décrit remarquablement les données de Planck

Pas d'indication d'interaction du champ d'inflation avec d'autres champs



« Modèle Standard » de la cosmologie: Λ CDM



Modèle Λ CDM :

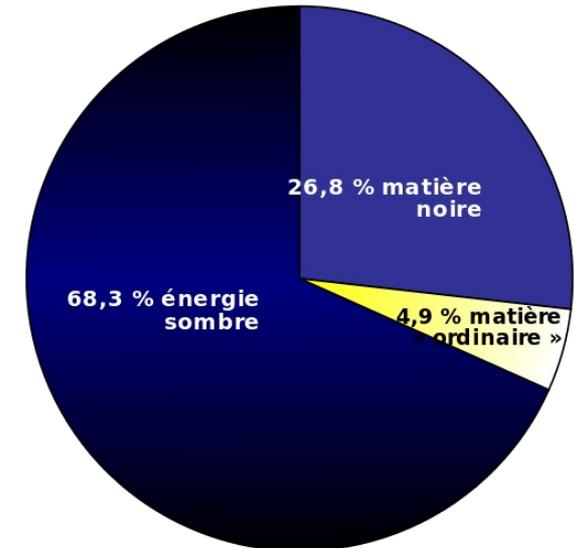
Λ : constante

cosmologique: expansion
accéléré de l'Univers

→ énergie noire

CDM: « Cold Dark Matter »

→ Matière noire



Mesures de précisions des six paramètres cosmologiques

→ Densité baryonique : 0.02230 ± 0.00014

→ Densité de matière noire : 0.1188 ± 0.0010

→ Age de l'Univers : $13.799 \pm 0.021 \times 10^9$ ans

2011: Saul Perlmutter, Adam Riess, Brian Schmidt



Kungliga
Svenska Vetenskapsakademien
har den 4 oktober 2011 beslutat
att med det
NOBELPRIS
som detta är tillerkännes den
som inom fysikens område gjort den
viktigaste upptäckten eller upptäckningarna
med en hälften belöna.

Saul Perlmutter
för upptäckten av universums
accelererande expansion genom ob-
servationer av avlägsna supernovor.

• STOCKHOLM DEN 10 DECEMBER 2011 •

Svea Högskola  



Kungliga
Svenska Vetenskapsakademien
har den 4 oktober 2011 beslutat
att med det
NOBELPRIS
som detta är tillerkännes den
som inom fysikens område gjort den
viktigaste upptäckten eller upptäckningarna
med en hälften gemensamt belöna.

Adam G. Riess
och Brian P. Schmidt
för upptäckten av universums
accelererande expansion genom ob-
servationer av avlägsna supernovor.

• STOCKHOLM DEN 10 DECEMBER 2011 •

Svea Högskola  

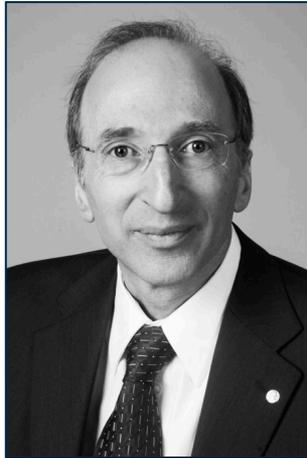


Kungliga
Svenska Vetenskapsakademien
har den 4 oktober 2011 beslutat
att med det
NOBELPRIS
som detta är tillerkännes den
som inom fysikens område gjort den
viktigaste upptäckten eller upptäckningarna
med en hälften gemensamt belöna.

Brian P. Schmidt
och Adam G. Riess
för upptäckten av universums
accelererande expansion genom ob-
servationer av avlägsna supernovor.

• STOCKHOLM DEN 10 DECEMBER 2011 •

Svea Högskola  



« Pour la découverte de l'accélération de l'expansion de l'Univers »

1998: Expansion de L'Univers accélérée

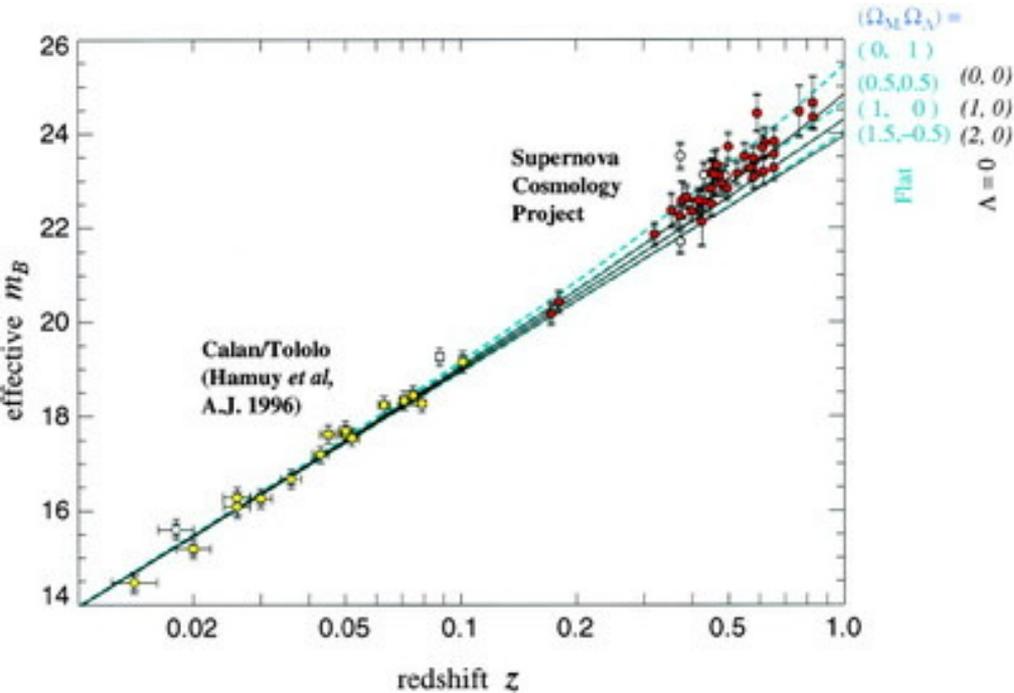
THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 517:565–586, 1999 June 1

© 1999. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

MEASUREMENTS OF Ω AND Λ FROM 42 HIGH-REDSHIFT SUPERNOVAE

S. PERLMUTTER,¹ G. ALDERING, G. GOLDBABER,¹ R. A. KNOP, P. NUGENT, P. G. CASTRO,² S. DEUSTUA, S. FABBRO,³
A. GOOBAR,⁴ D. E. GROOM, I. M. HOOK,⁵ A. G. KIM,^{1,6} M. Y. KIM, J. C. LEE,⁷ N. J. NUNES,² R. PAIN,³
C. R. PENNYPACKER,⁸ AND R. QUIMBY

Institute for Nuclear and Particle Astrophysics, E. O. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA 94720



Supernovæ du type IA :

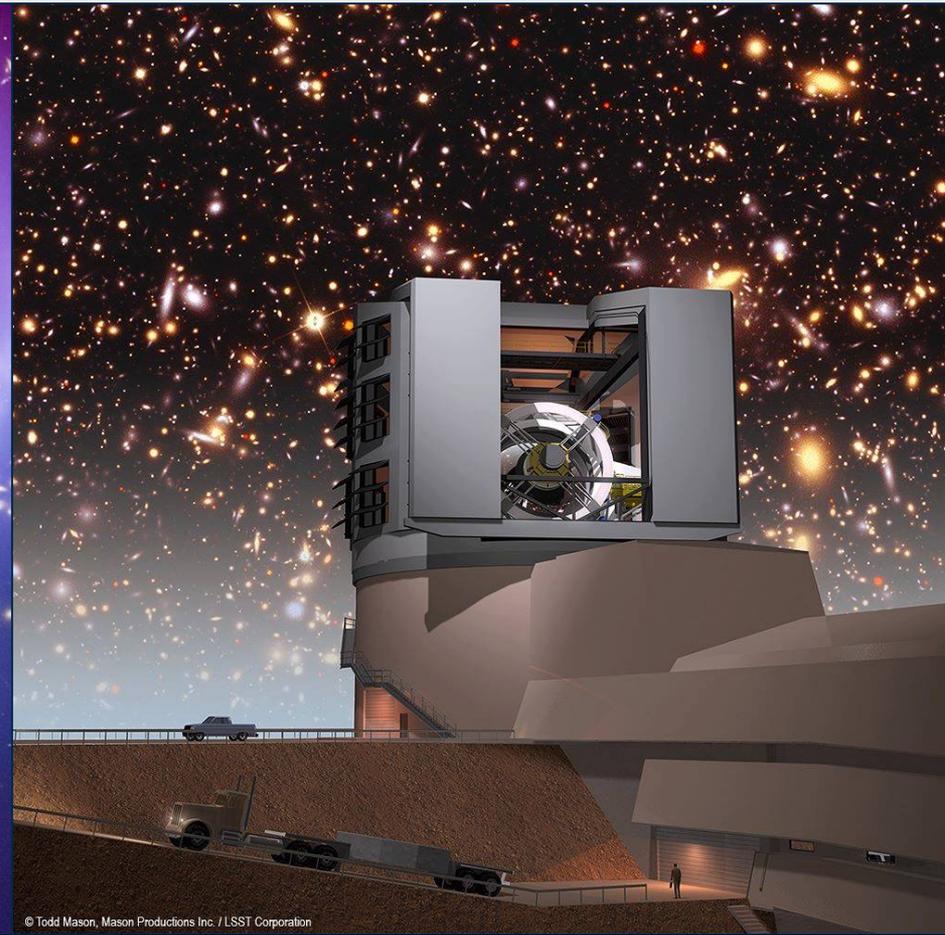
chandelles standards

- Mesurer de la luminosité: distance
- Mesurer la longueur d'onde: expansion de l'Univers depuis leur explosion

Les nouveaux instruments



EUCLID: lancé le 1^{er} juillet 2023

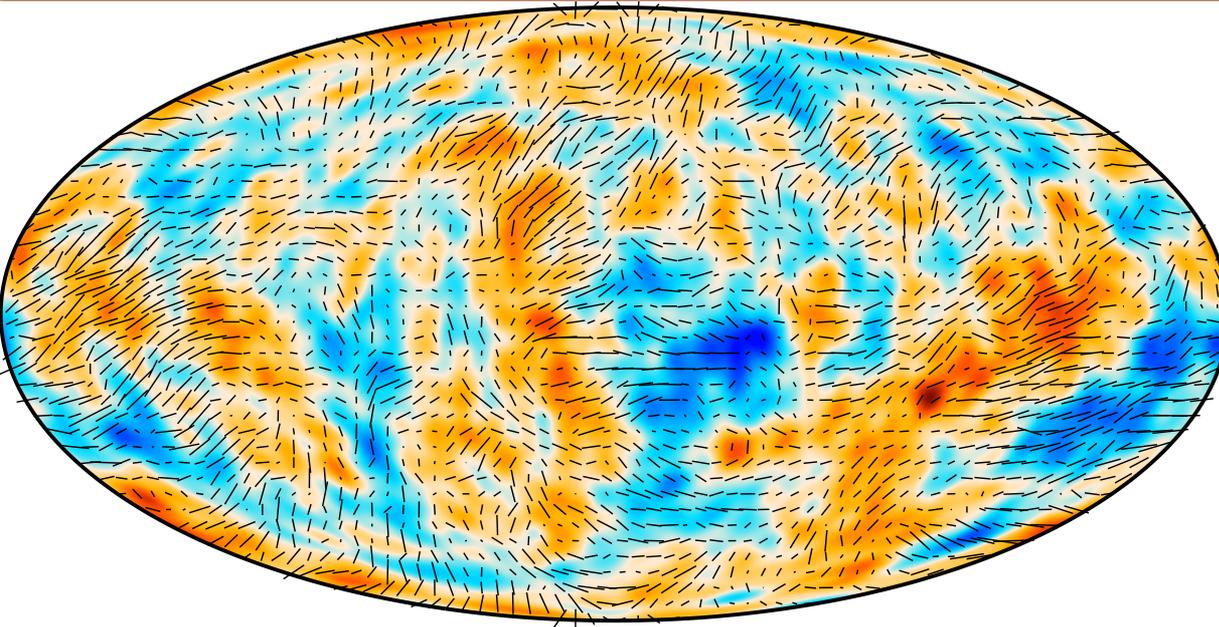


© Todd Mason, Mason Productions Inc. / LSST Corporation

Vera Rubin Observatory – LSST : 1^{er} lumière juillet 2024

Traquer L'inflation

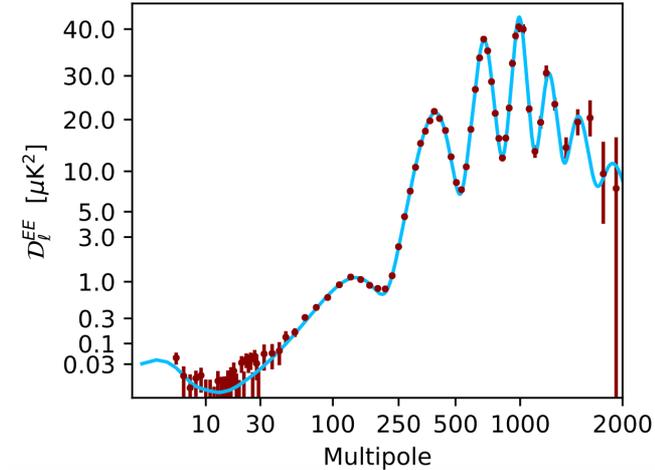
Photons mesurés garde l'information de la dernière diffusion sur un électron avant la recombinaison



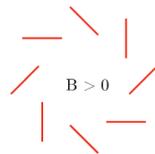
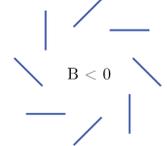
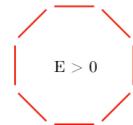
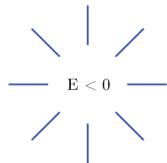
0.41 μK

-160

160 μK



E-mode: Diffusion élastique de Thompson: ($E\gamma \ll m_e$)
→ polarisation dans des régions dense en matière

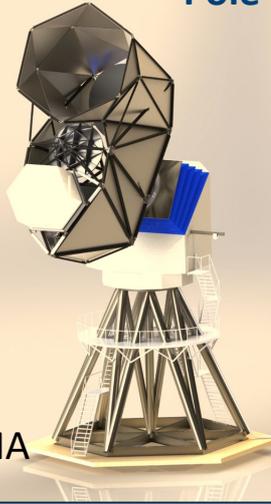


B-mode: générés par
- des ondes gravitationnelles primordiales)
- effet lentille des galaxies

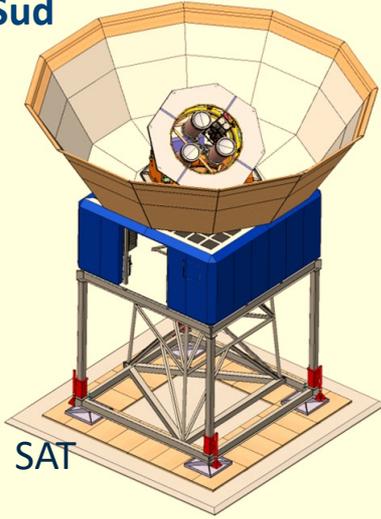
- Recherche par des corrélations «en 4 points »
- Polarisation observé directement corrélé aux densités de matière
- Limites sur les OGP

CMB-S4 / Litebird : B-modes

Pôle Sud

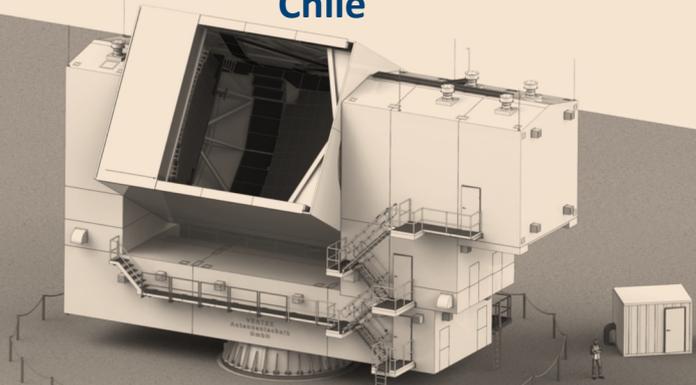


TMA

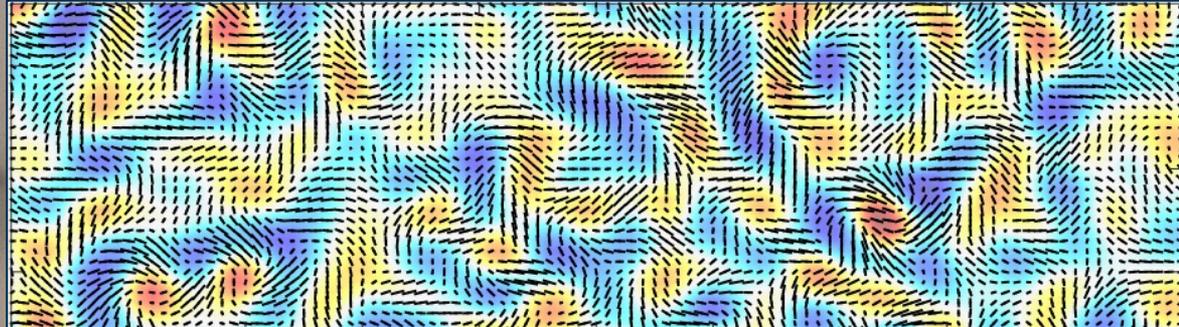
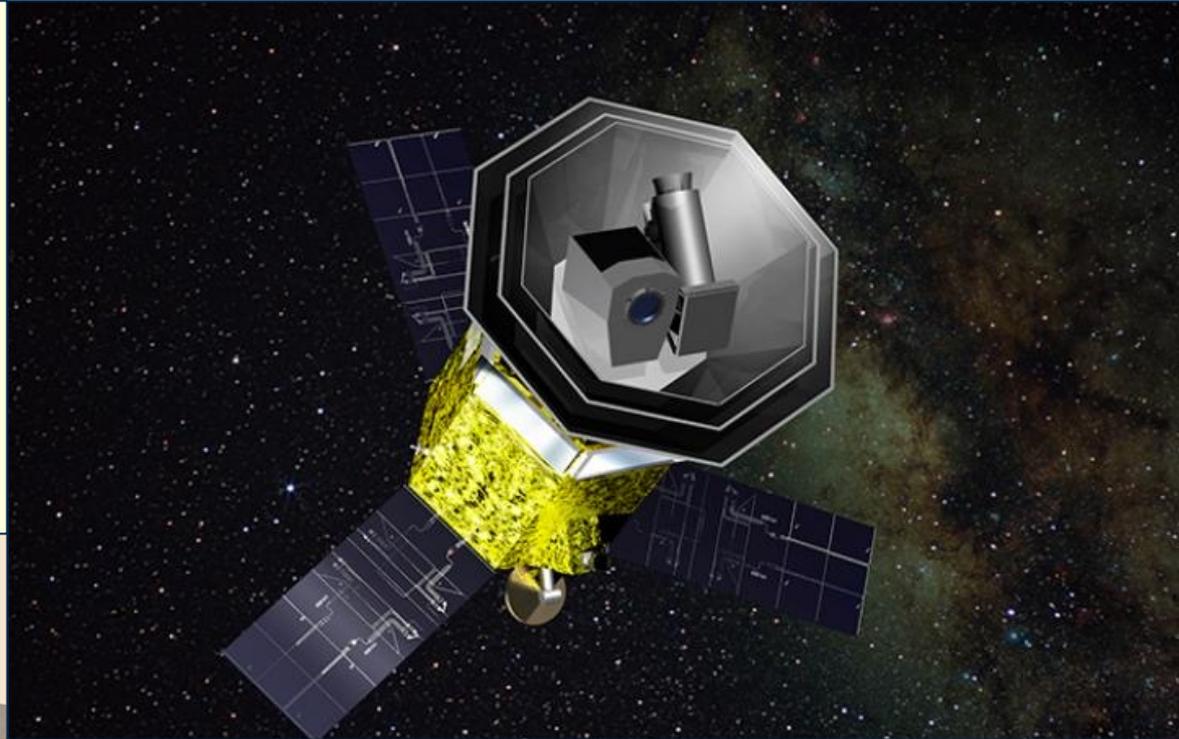


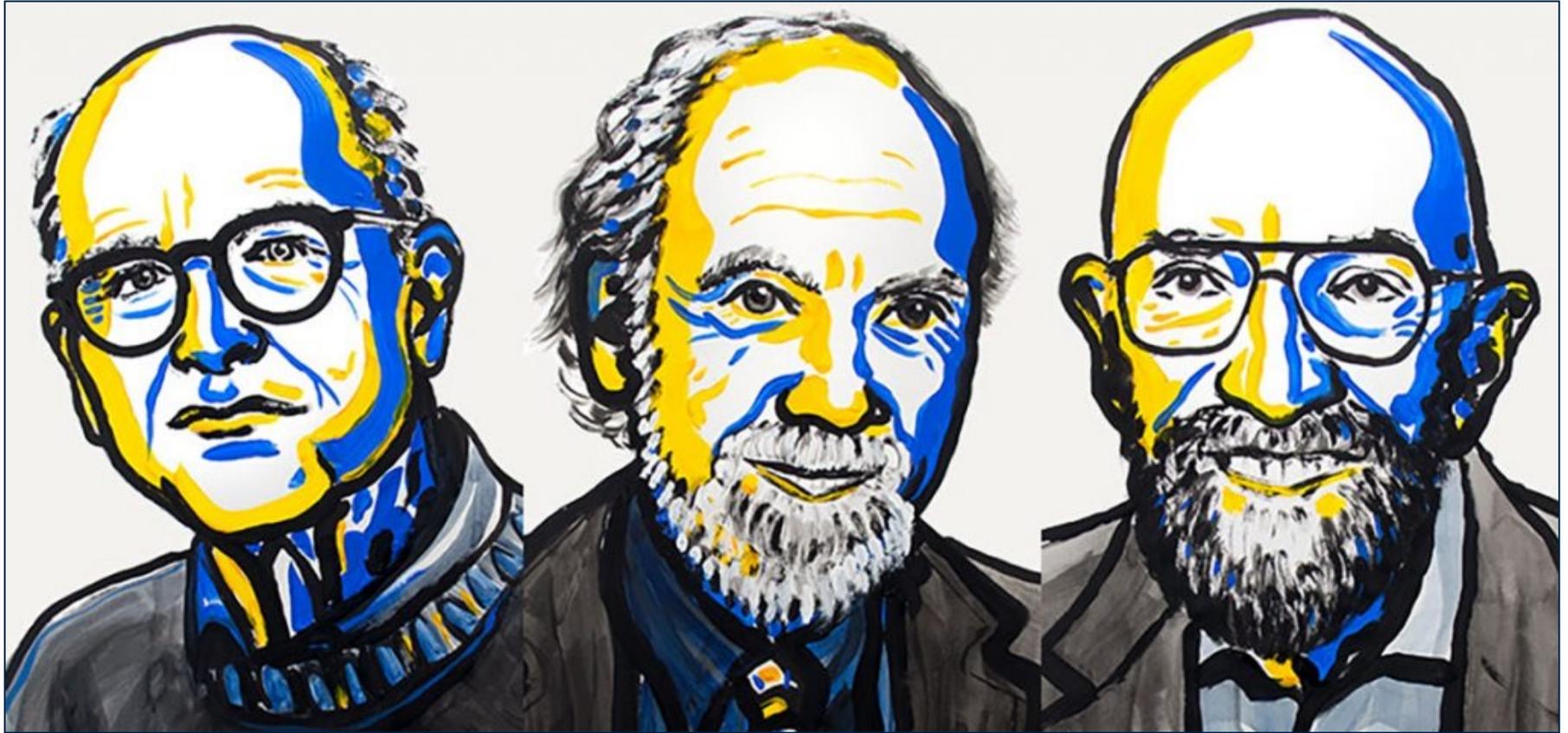
SAT

Chile



Cross-Dracone Telescopes)





2017: Rainer Weiss, Barry Barish, Kip Thorne



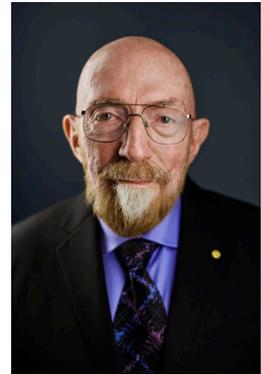
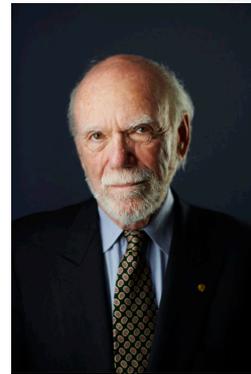
Kungl. Vetenskapsakademien
har den 3 oktober 2017
beslutat att med det
NOBELPRIS
som detta är tillerkännes den
som inom fysikens område gjort
den viktigaste upptäckten eller
uppfinnningen gemensamt belöna
RAINER WEISS
BARRY C. BARISH OCH KIP S. THORNE
för avgörande bidrag till
LIGO-detektorn och observationen
av gravitationsvågor.
STOCKHOLM DEN 30 DECEMBER 2017



Kungl. Vetenskapsakademien
har den 3 oktober 2017
beslutat att med det
NOBELPRIS
som detta är tillerkännes den
som inom fysikens område gjort
den viktigaste upptäckten eller
uppfinnningen gemensamt belöna
BARRY C. BARISH
KIP S. THORNE OCH RAINER WEISS
för avgörande bidrag till
LIGO-detektorn och observationen
av gravitationsvågor.
STOCKHOLM DEN 30 DECEMBER 2017

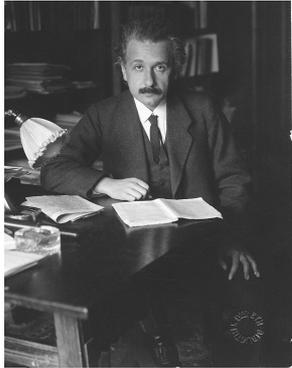


Kungl. Vetenskapsakademien
har den 3 oktober 2017
beslutat att med det
NOBELPRIS
som detta är tillerkännes den
som inom fysikens område gjort
den viktigaste upptäckten eller
uppfinnningen gemensamt belöna
KIP S. THORNE
BARRY C. BARISH OCH RAINER WEISS
för avgörande bidrag till
LIGO-detektorn och observationen
av gravitationsvågor.
STOCKHOLM DEN 30 DECEMBER 2017



“Pour leurs contributions décisives au détecteur LIGO et à l'observation des ondes gravitationnelles.”

La prediction d'Einstein



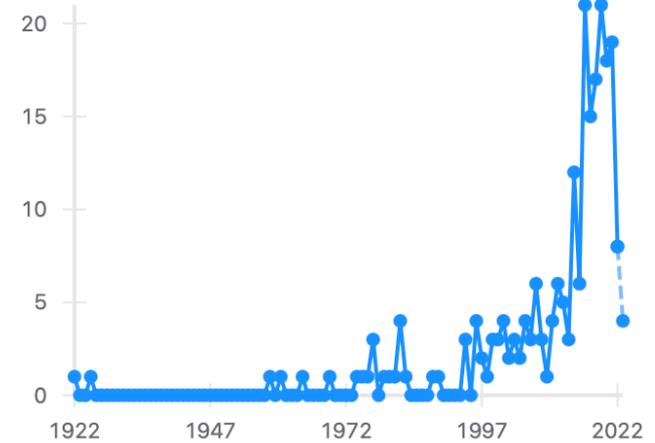
Premières idées par Oliver Heaviside en 1893 et par Henri Poincaré en 1905 : Ondes similaires aux ondes électromagnétique, mais induit par la gravitation
→ Pas possible dans la mécanique newtonienne

Über Gravitationswellen.

VON A. EINSTEIN.

(Vorgelegt am 31. Januar 1918 [s. oben S. 79].)

Die wichtige Frage, wie die Ausbreitung der Gravitationsfelder erfolgt, ist schon vor anderthalb Jahren in einer Akademiearbeit von mir behandelt worden¹. Da aber meine damalige Darstellung des Gegenstandes nicht genügend durchsichtig und außerdem durch einen bedauerlichen Rechenfehler verunstaltet ist, muß ich hier nochmals auf die Angelegenheit zurückkommen.



Taux de citation du papier

- Einstein doute dans les années 1930 (avec Nathan Rosen): erreur de calcul (corrigé par Howard Robinson)
- Théorie des ondes gravitationnelles établit pleinement à la fin des années 1950s
(Hermann Bondi, Felix Pirani, Ivor Robinson, et Andrzej Trautman)

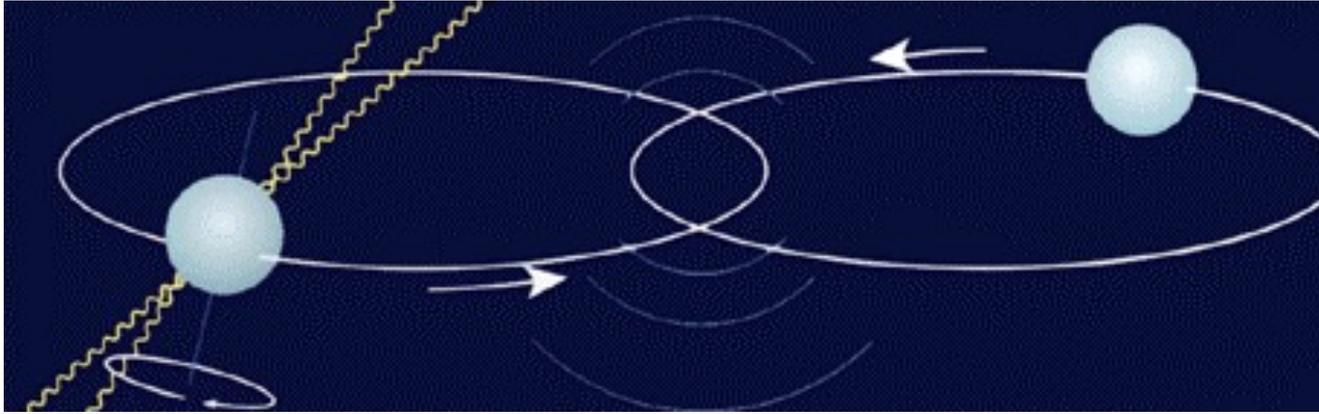
Barre de Weber: Antennes gravitationnelles



- Développé dans les années 1960 par Joseph Weber:
- Plusieurs cylindre d'aluminium imbriqué qui devait se déformer lors du passage d'une onde gravitationnelle.
 - Un réseau de barres : Allegro (Louisiane), Augira (Legnaro), Explorer (CERN), Nautilus (Frascati)
- Prise de données jusqu'au milieu des années 1990
→ Pas de détection confirmé



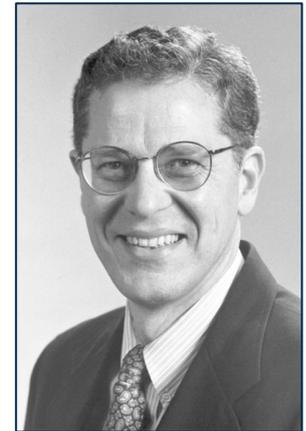
Ondes gravitationnelles : Pulsar Hulse et Taylor



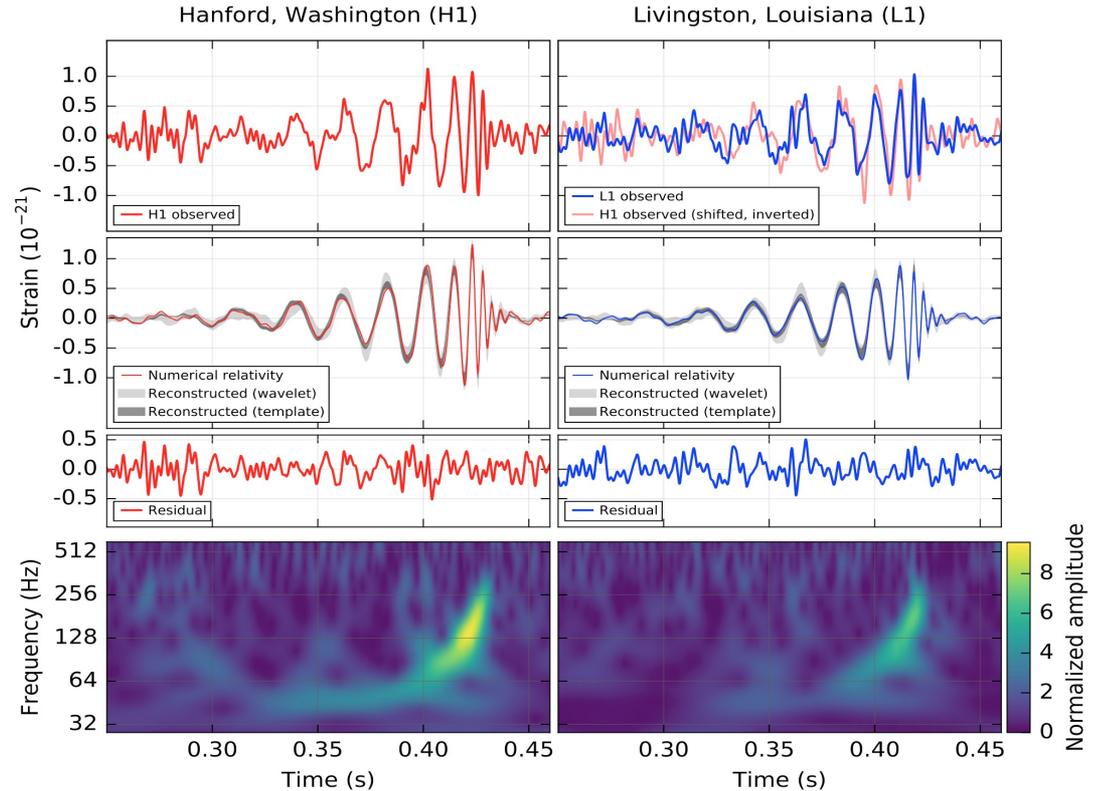
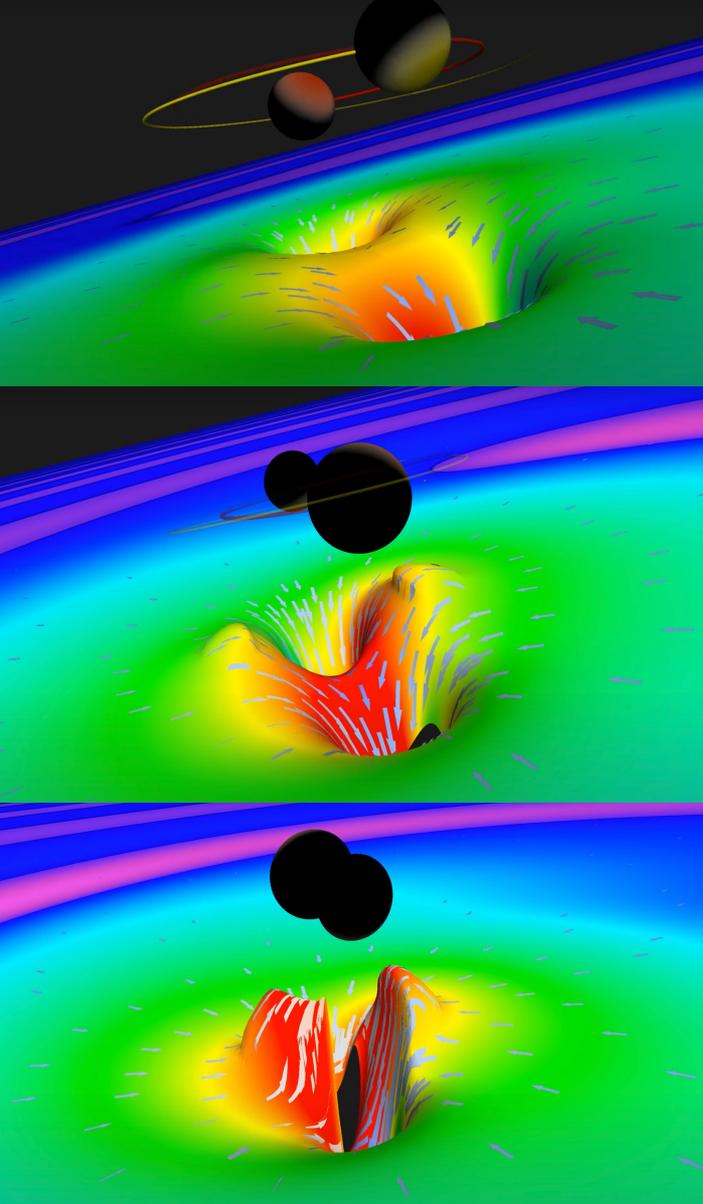
Découverte indirecte:

- 1974 découverte du Pulsar de Hulse et Taylor
- Pulsar binaire : fréquence de 27 907 secondes diminue ~ 67 ns à chaque révolution
- Rayonnement gravitationnel
- Prix Nobel en 1993:

« Pour la découverte d'un nouveau type de pulsar, qui a ouvert de nouvelles possibilités pour l'étude de la gravitation. »



2016: Ligo/Virgo



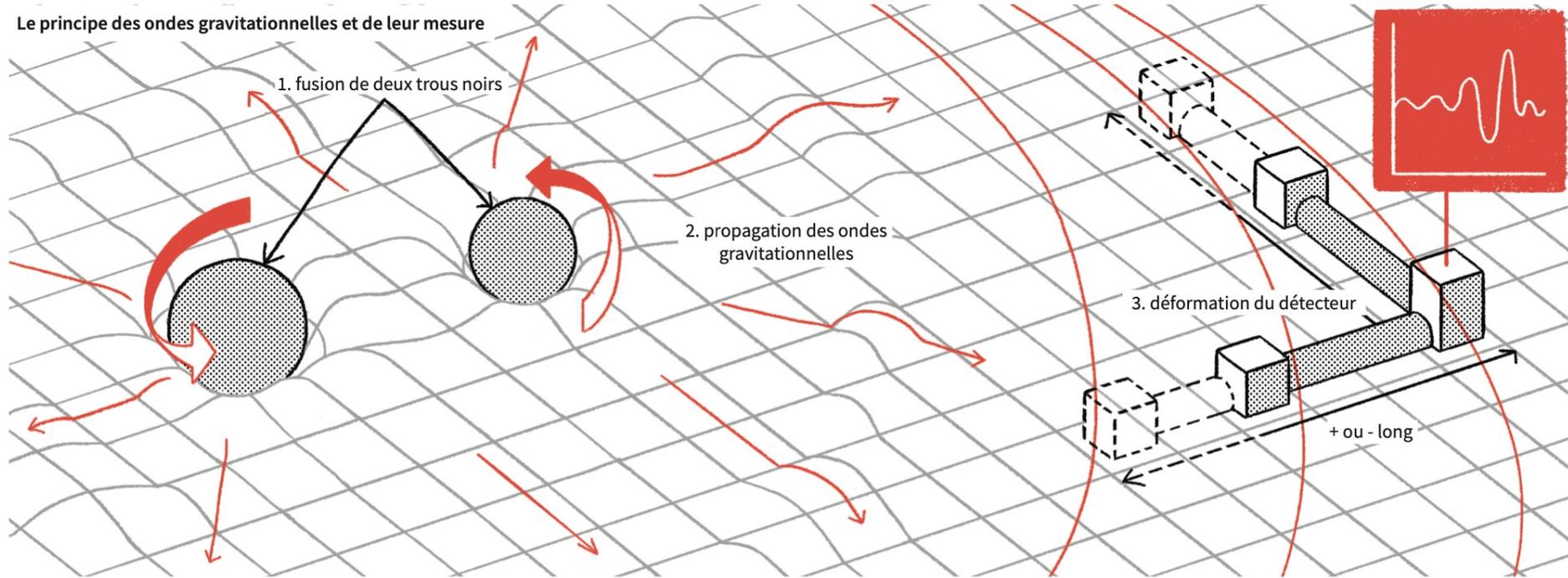
$M_1 = 36 M_{\odot}$ $M_2 = 29 M_{\odot}$ $\Delta M = 3 M_{\odot} \rightarrow$ puissance: $3 \cdot 10^{49} \text{W}$
distance: 1,3Md années-lumière

Simulation d'une coalescence de deux trous noirs:

<https://www.ligo.caltech.edu/video/ligo20160211v10>

Principe de mesures des ondes gravitationnelles

Le principe des ondes gravitationnelles et de leur mesure

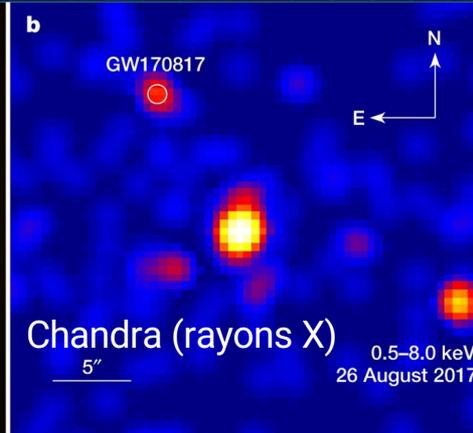
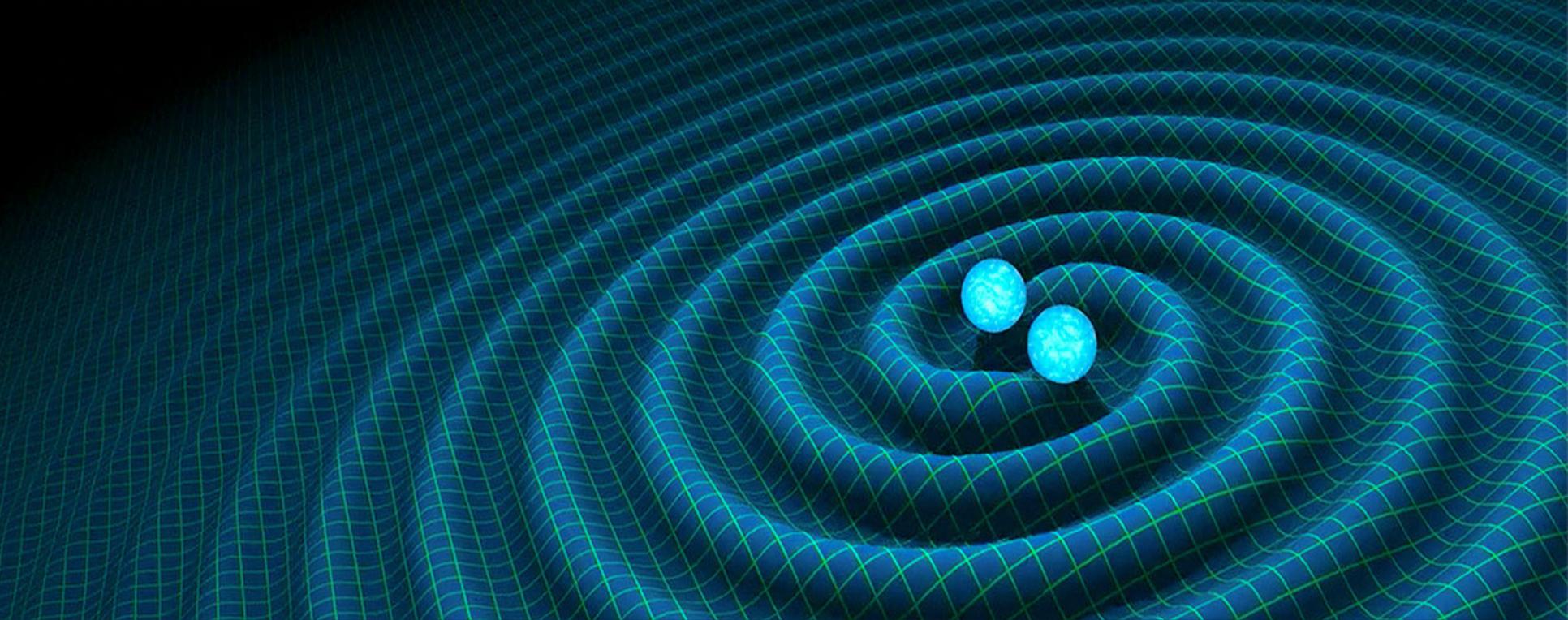


1^{er} observation d'une onde gravitationnelle

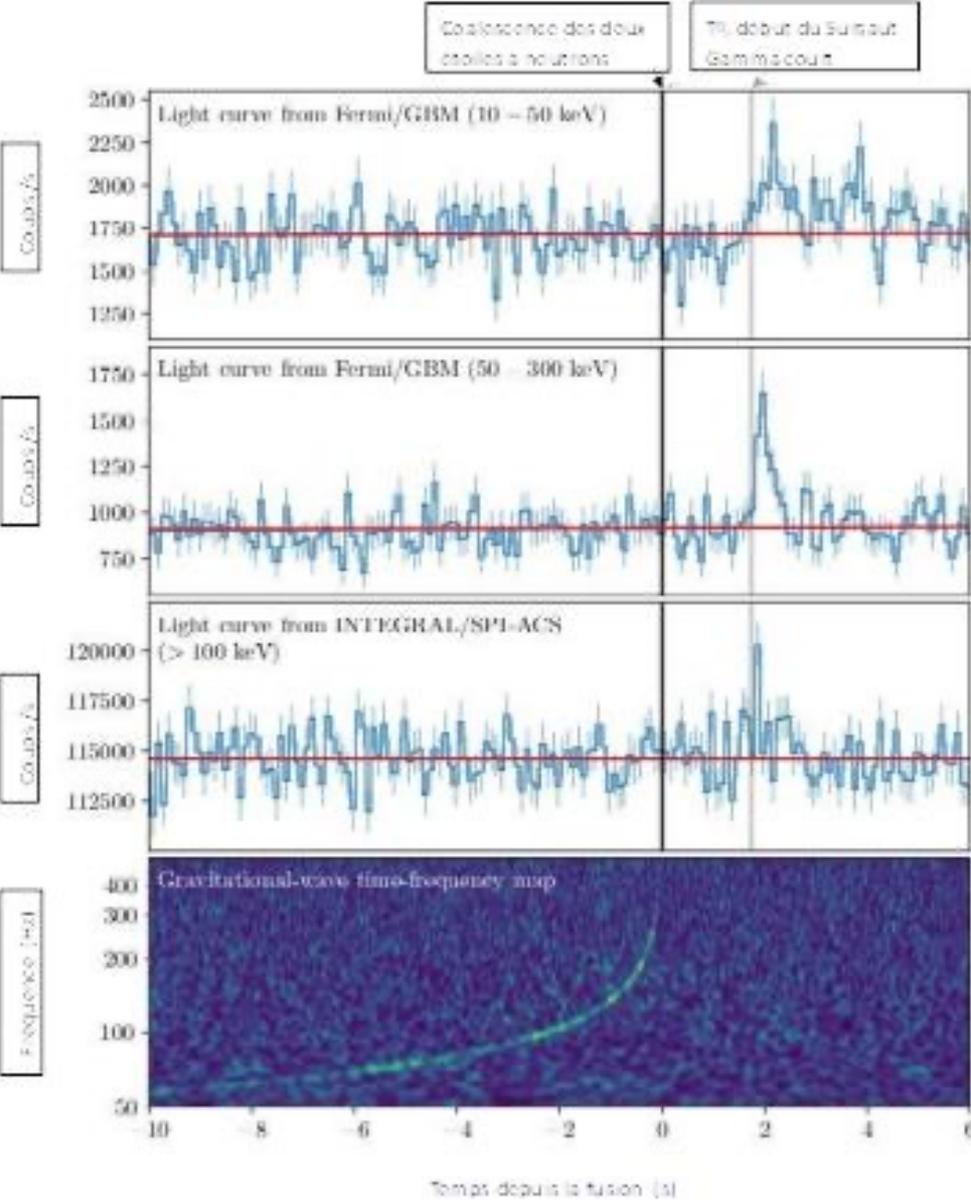
1^{er} observation directe d'un trou noir

1^{er} observation d'une coalescence de deux trous noirs

➔ nouvelle astronomie



2017: Multi-messagers !

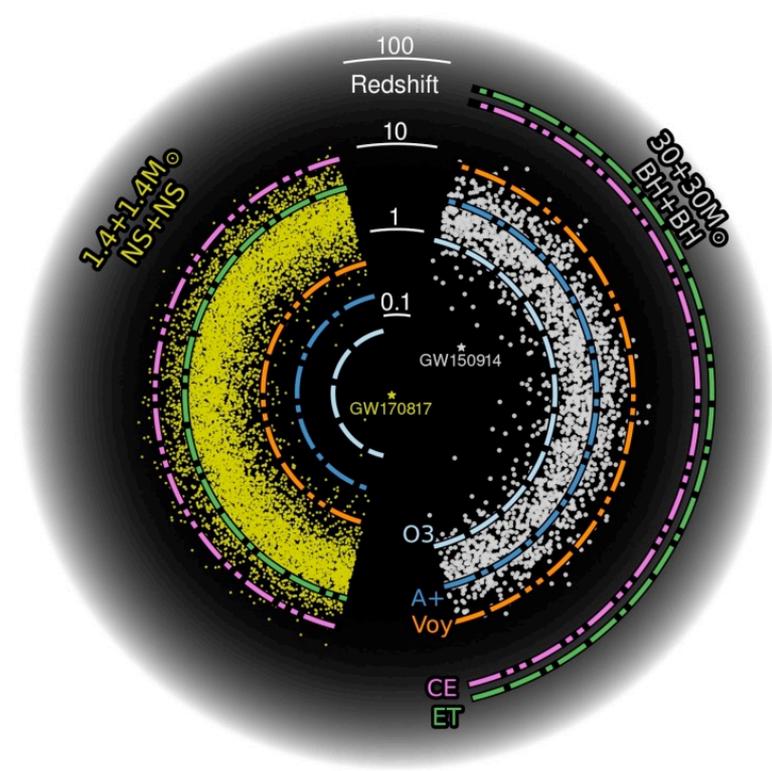
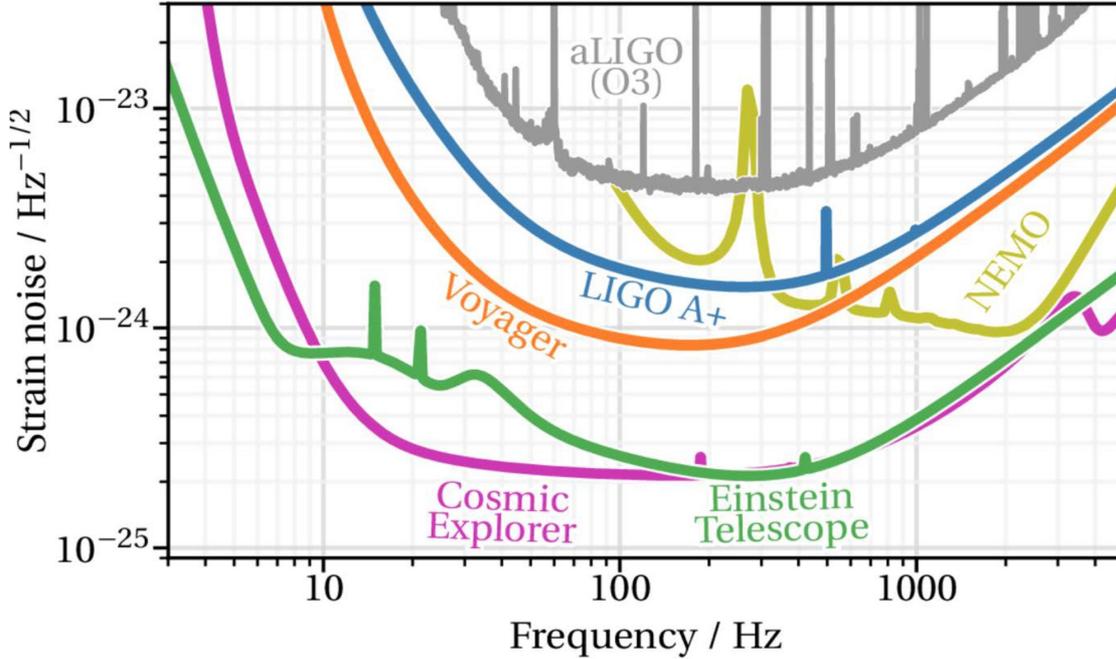


Observation de la coalescence de deux étoiles à neutrons « simultanément » par Ligo-Virgo, Fermi et Integral:
Kilonova!

Distance parcourue des signaux:
140M années-lumière

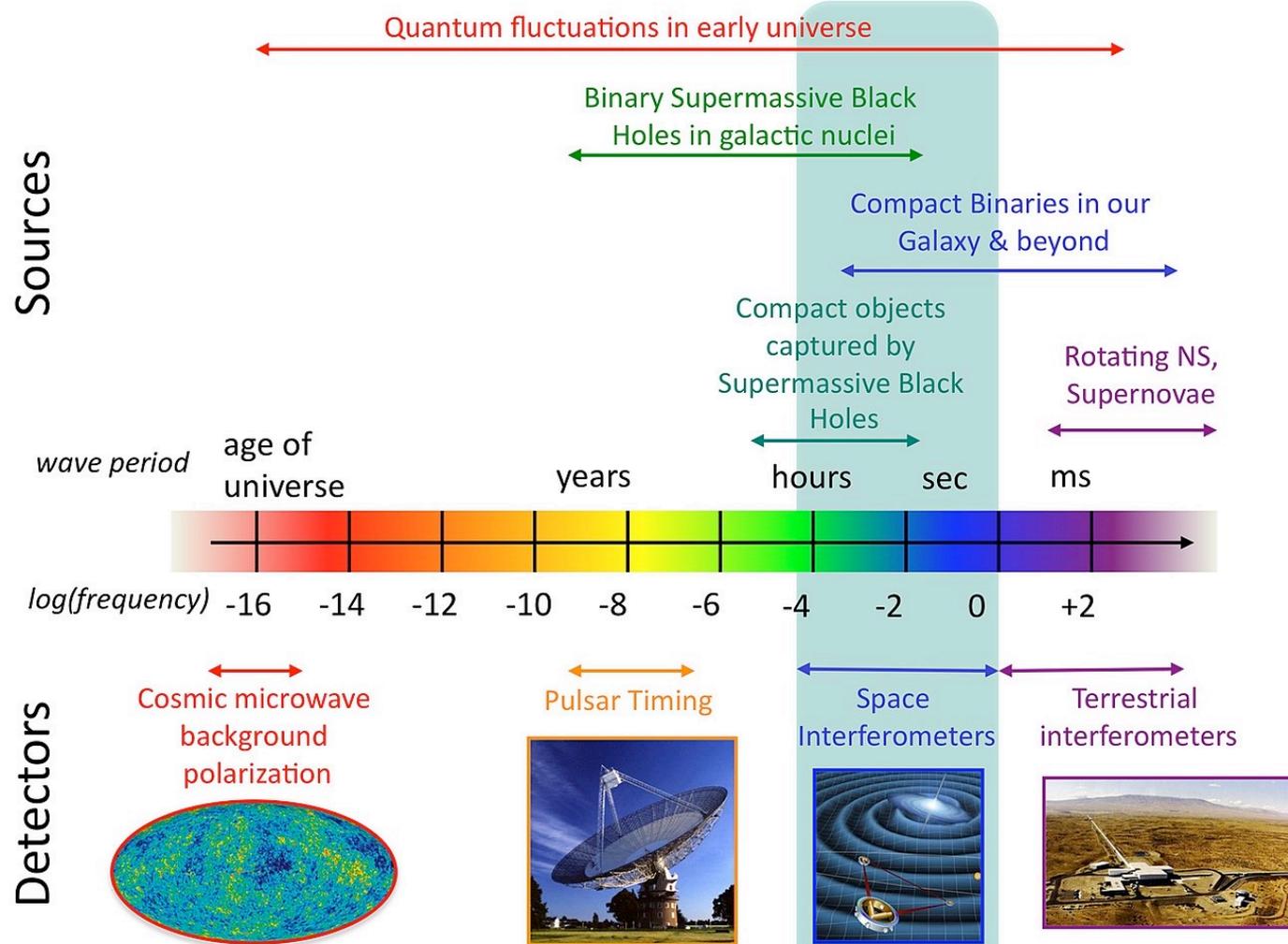
Différence des temps d'arrivées entre le signal gravitationnel et le signal électromagnétique:
2 secondes

→ Temps de formation du signal électromagnétique

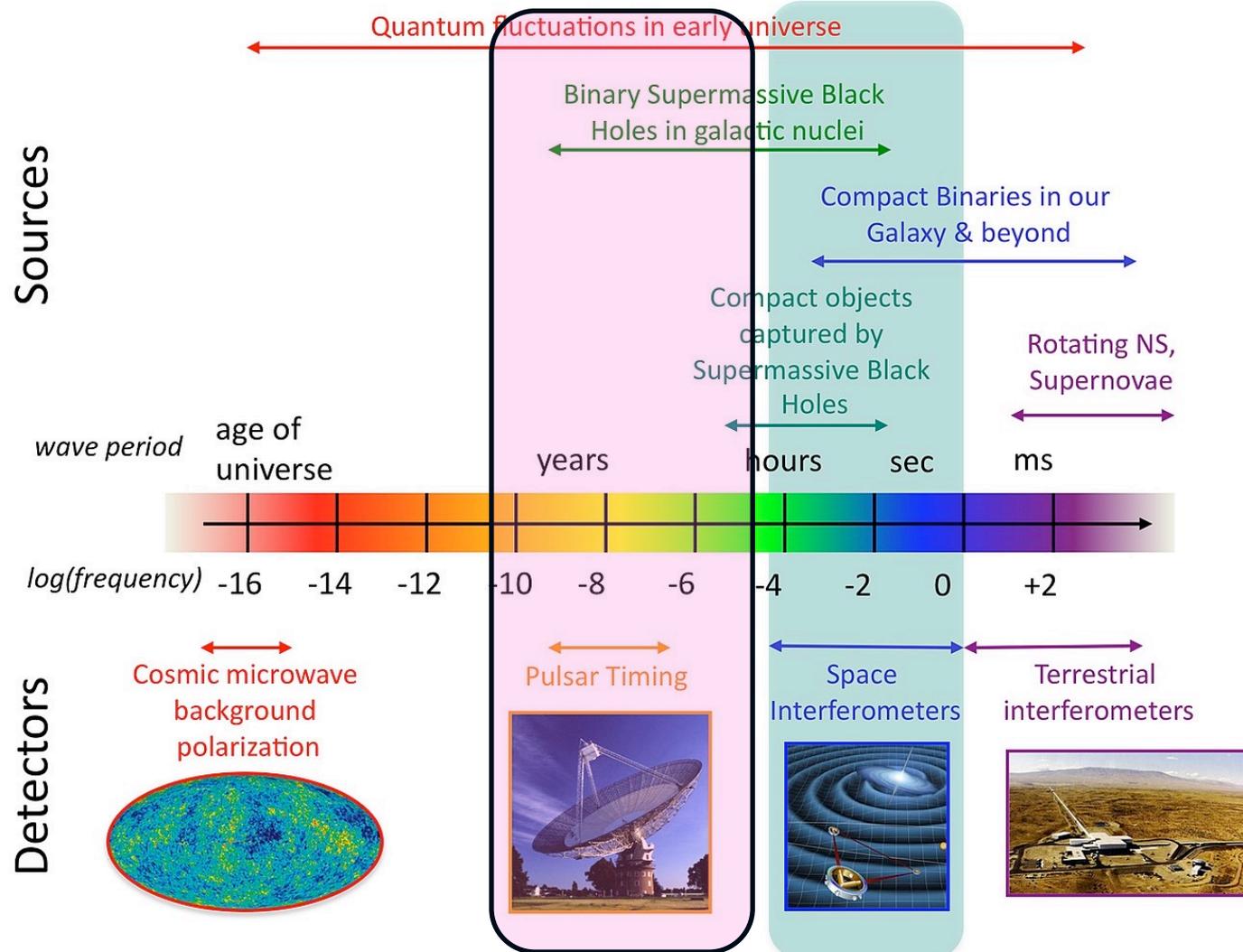


Dans les 10-20 ans à venir, le domaine des trous noirs et des étoiles à neutrons devrait être exploré entièrement!

Spectres des ondes gravitationnelles



Spectres des ondes gravitationnelles



Fond stochastique d'ondes gravitationnelles



Sources cosmologiques de l'Univers primordial:

- Traces de l'inflation cosmique,
- transition de phase électrofaible
-

→ CMB

Sources astrophysiques:

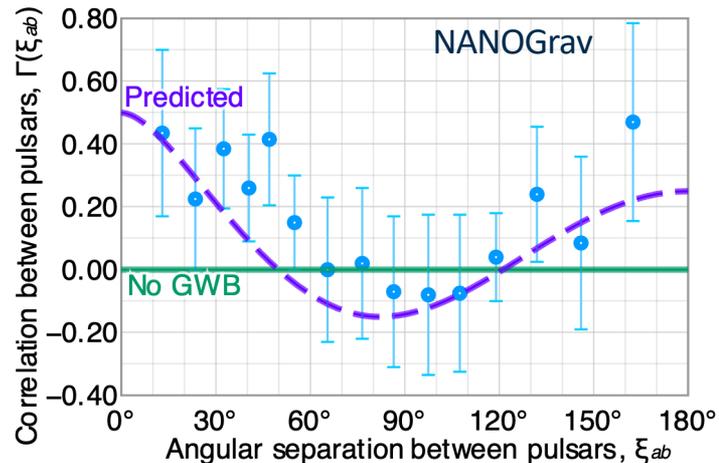
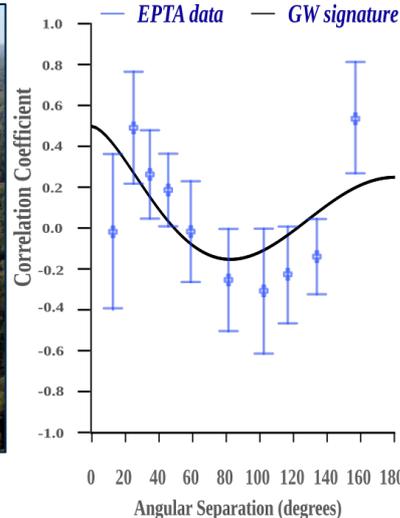
- Superposition de sources astrophysique:
 - Merger de trous noirs avec des masses solaires
 - Effondrement gravitationnel d'étoiles
 - Rotation rapide d'étoiles à neutrons

→ vue?

Le retour des Pulsars!

Annnonce en juin des réseaux de radiotélescopes à travers le monde (Europe, Amérique du Nord, Inde, Australie, Chine):

- Observation d'un signal du fond stochastique d'ondes gravitationnelles
 - Observations de dizaines de pulsars avec des périodes de l'ordre de la milliseconde sur une période de 15 à 25 ans
 - De dizaine de milliers de mesures!
- Signaux avec une significace statistique de 3 sigmas
→ Combinaison à venir!





2015: Taakita Kajita, Arthur Mc Donalds



« Pour leur découverte sur les oscillations de neutrinos qui démontre que les neutrinos ont une masse. »



Homestake et les neutrinos solaires



1956 – découverte du neutrino:

Reines et Cowan – prix Nobel 1995 pour Reines



1962 - découverte du neutrino muon :

Lederman, Schwartz, Steinberger – prix Nobel 1988

2000 – découverte du neutrino tau:

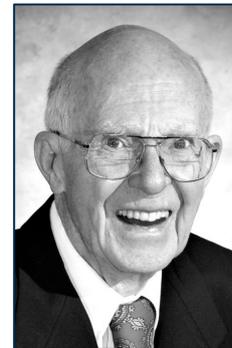
DONUT collaboration



Fin des années 1960 :

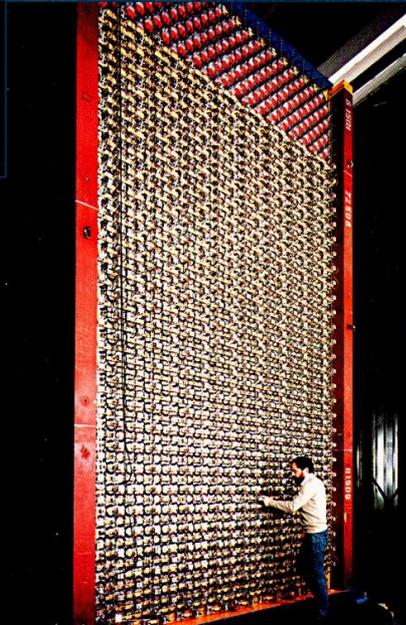
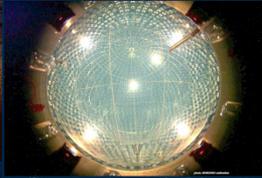
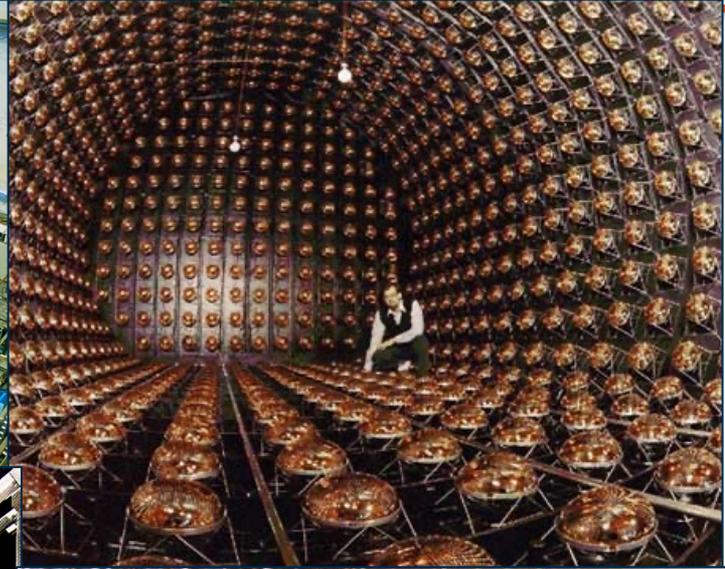
- John Bahcall calcul le flux de neutrinos émis par le soleil
- Raymond Davis réfléchit comment le mesurer.

- Expérience dans la mine de Homestake : détecteur de 380 m³ de perchloroéthylène
- $\text{Cl} + \nu \rightarrow \text{Ar}$: mesurer la quantité d'Argon produite permet de calculer le flux des neutrinos
- ➔ Seulement 1/3 du flux attendu a été observé !

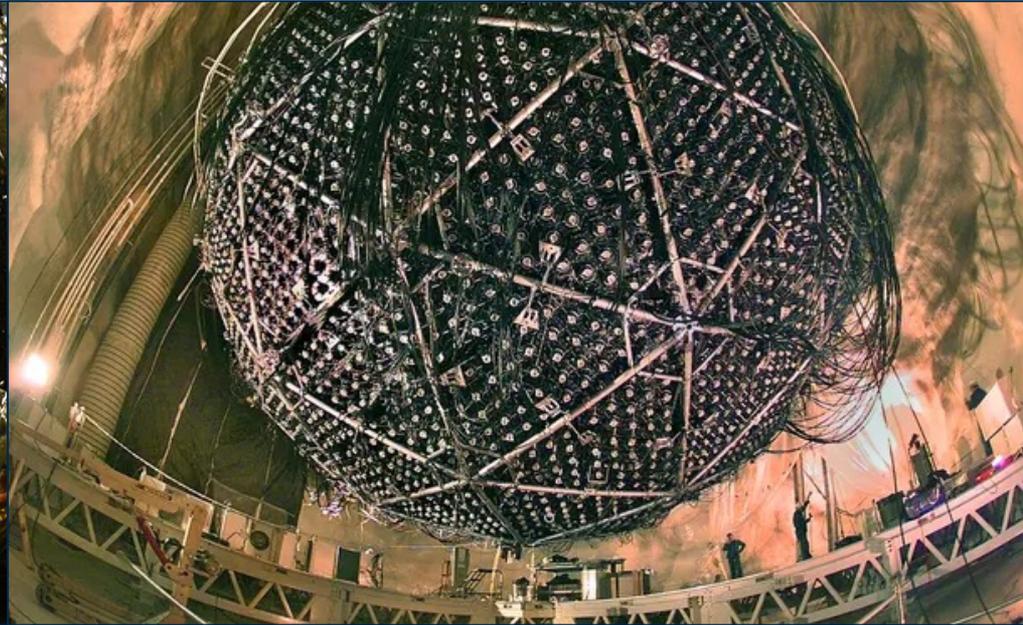
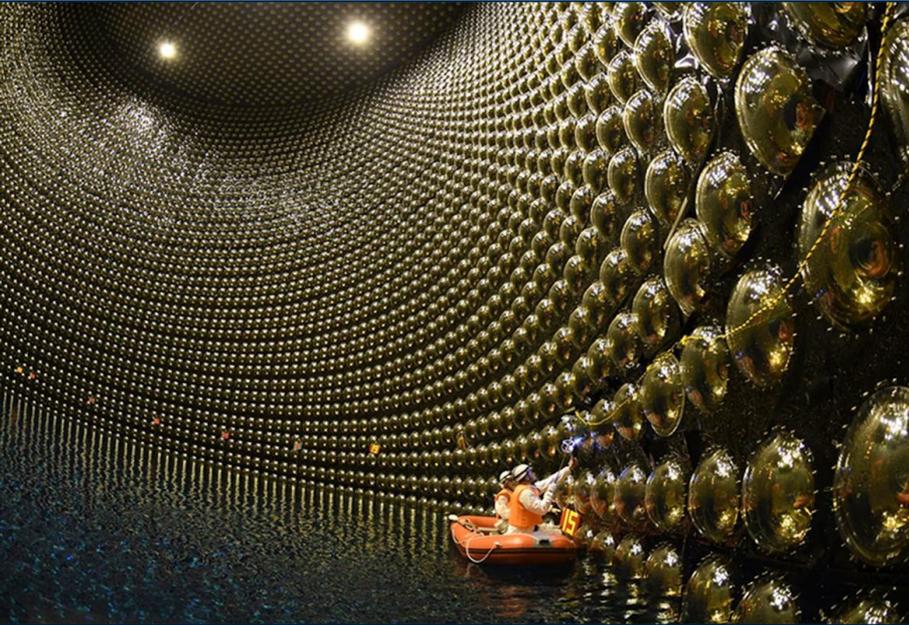


Prix Nobel en 2002 pour Davis et Koshiba (Expérience Kamiokande)

La recherche des oscillation de neutrinos



Les grands moyens

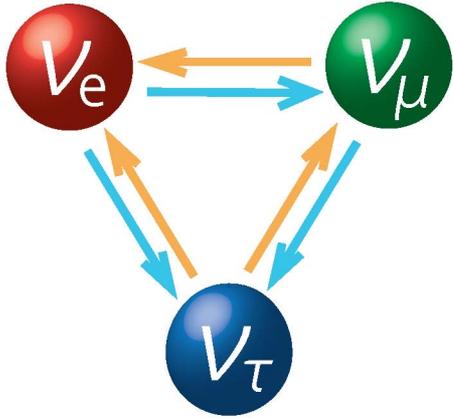


Super-Kamiokande (Japon)

- 50 000 t d'eau ultrapure à 1000m sous terre
 - Diffusion élastique: $\nu + e \rightarrow \nu + e$ (7:1)
- Publication sur l'oscillation des neutrinos en 1998

Sudbury Neutrino Observatory - SNO (Canada) 1999-2006

- 1000 t d'eau lourde à 2100 m sous terre :
 - Courant chargé: $\nu_e + n \rightarrow p + e$
 - Courant neutre: $\nu + d \rightarrow p + n + \nu$
- Publication sur l'oscillation des neutrinos solaire en 2001



Paramétrisation des oscillation de neutrino:

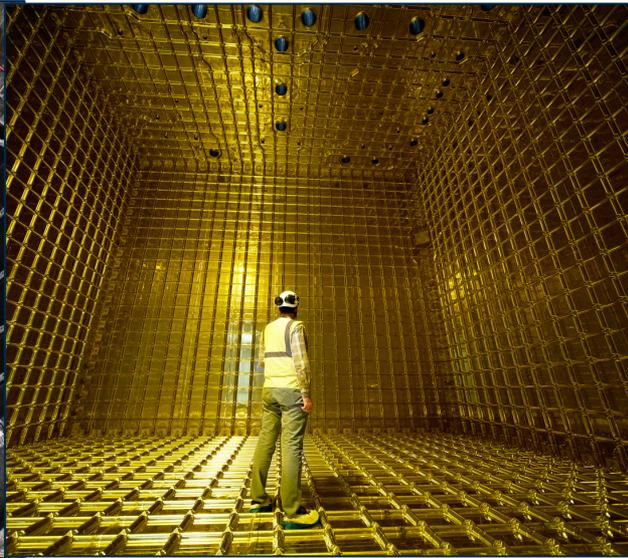
Matrice de PMNS

3 angles: θ_{12} , θ_{13} , θ_{23}

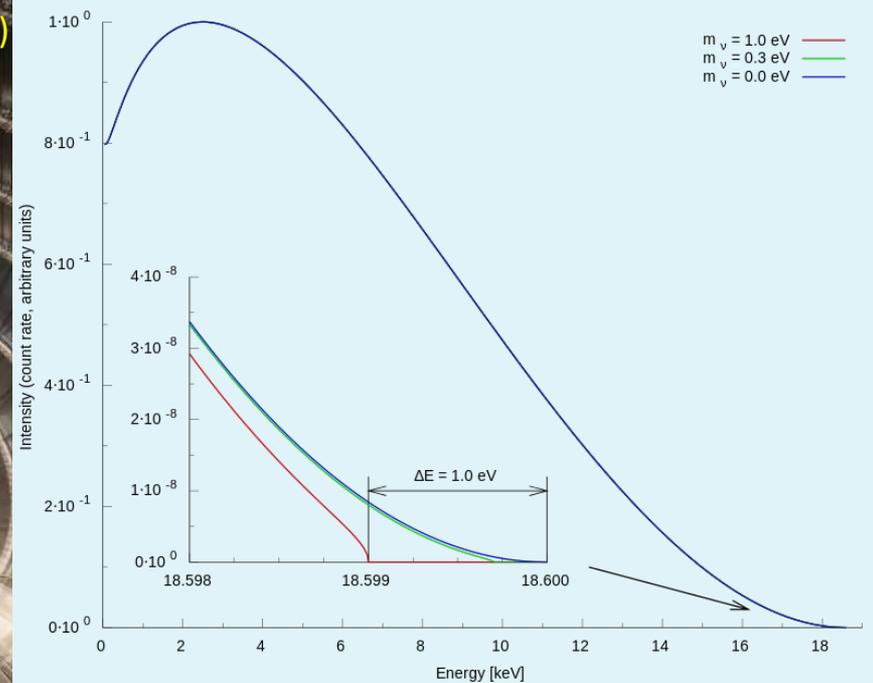
2 différences de masse: m_{12} , m_{23}

1 phase: δ

➔ Mesurer avec précision ces paramètres



Mesurer la masse des neutrinos



Mesure directe de la masse des neutrinos:

Résultat de 2022: $m < 0,9 \text{ eV}$

Contraintes cosmologiques: $m < 0,9 \text{ eV}$



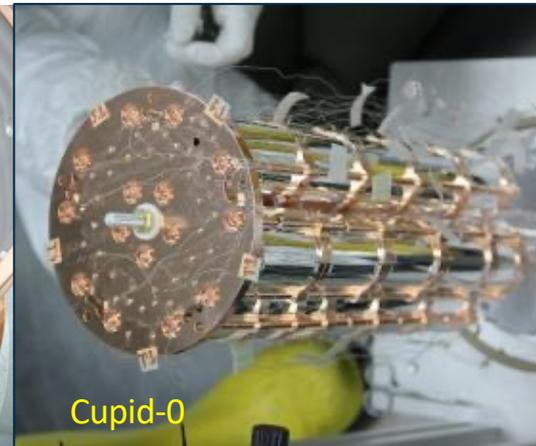
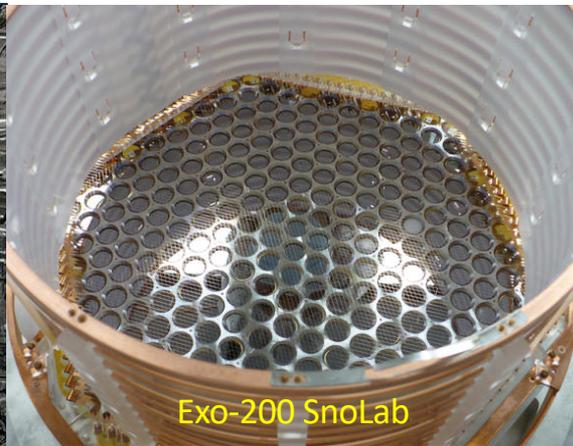
Questions pour les neutrinos

Est-ce que le neutrino est sa propre antiparticule?

Pourquoi il n'y a pas de neutrinos droit? Ou d'antineutrino gauche?

Comment les neutrinos peuvent avoir une masse?

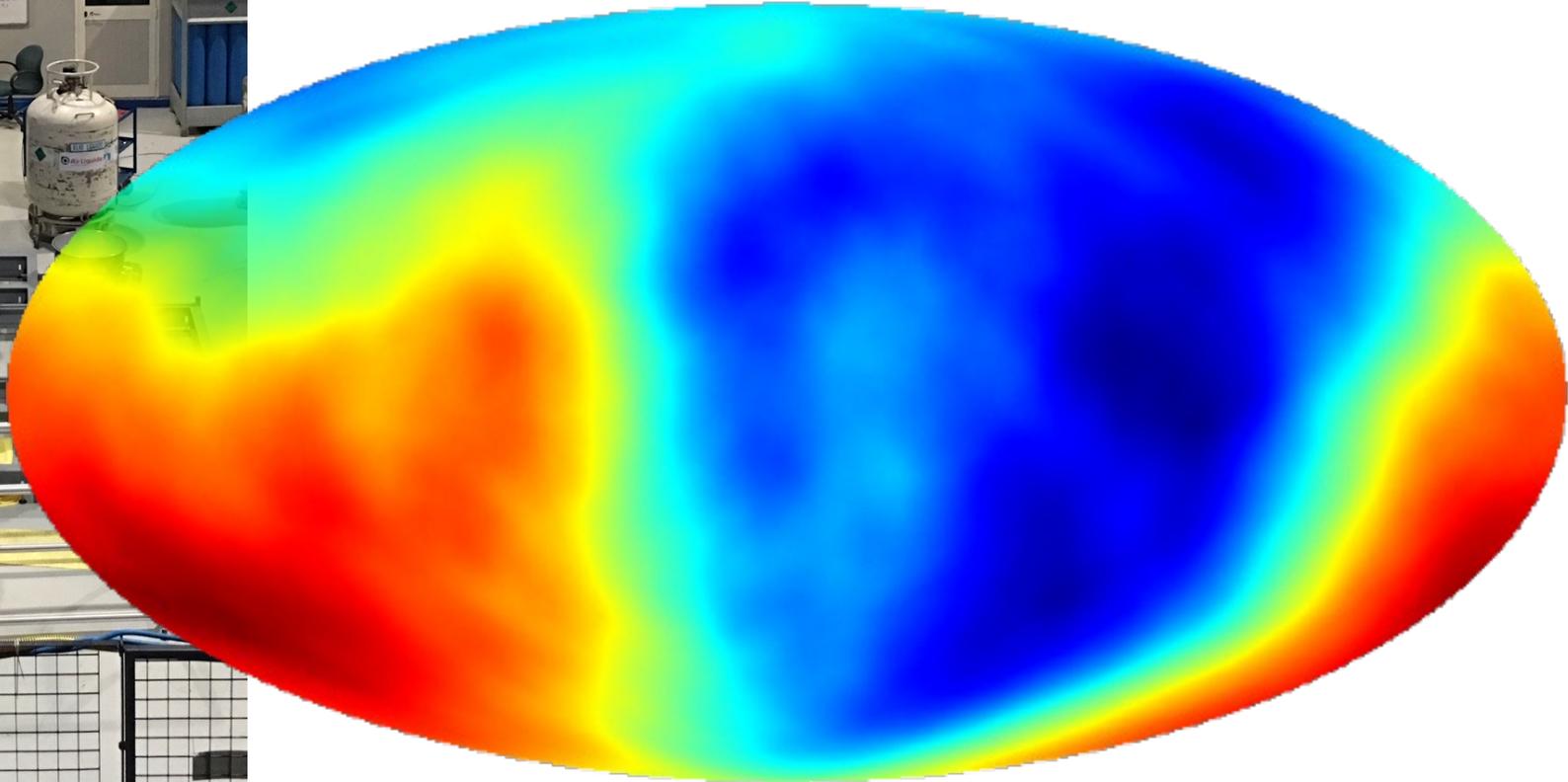
Quel rôle ont joué les neutrinos dans l'Univers primordiale?



Cosmic neutrino background

Expérience Ptolemy au Gran Sasso

- La première lumière : émis 380 000 années après le « Big Bang »
- Les premiers neutrinos : émis 1s après le « Big Bang »
- Densité: 112 nu/cm³
- Température: 1.95 K





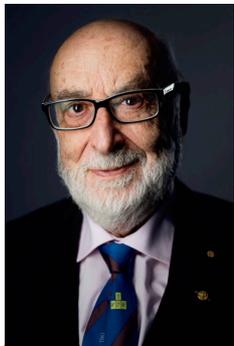
2013: François Englert, Peter Higgs



Kungliga Svenska Vetenskapsakademien
hav den 8 oktober 2013 beslutat att maldet
NOBELPRIS
som detta är tillerkännes den
som inom fysikens område gjort den
viktigaste upptäckten eller uppfinningen
gemensamt belöna
François Englert
och Peter W. Higgs
för den teoretiska upptäckten av en mekanism som
bidrar till förståelsen av massans ursprung hos
subatomära partiklar, och som utgjort, genom upptäckten
av den förutsagda fundamentala partikeln,
bekräftats av ATLAS och CMS-experimenten
vid CERNs acceleratör LHC.
• STOCKHOLM DEN 10 DECEMBER 2015 •

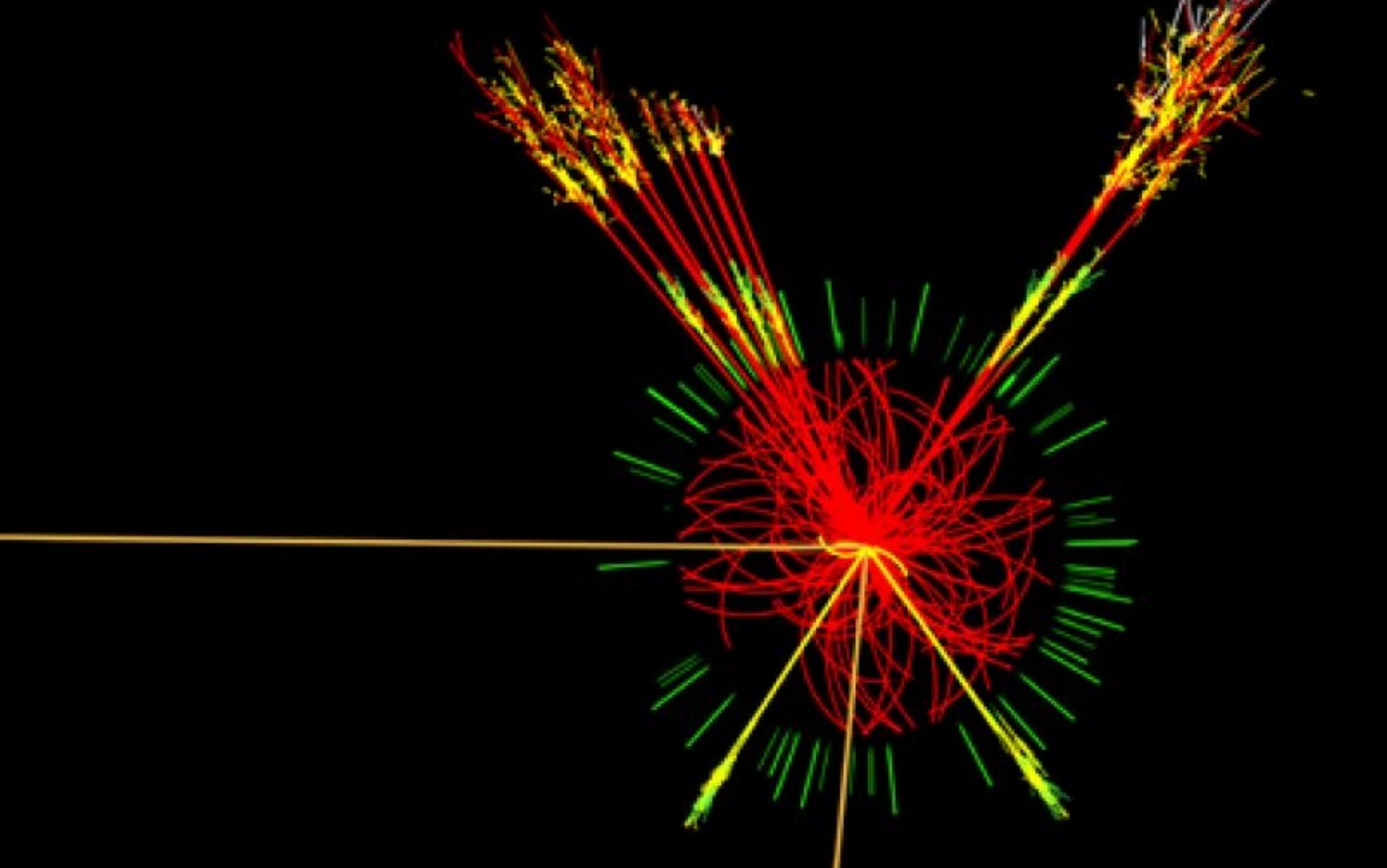


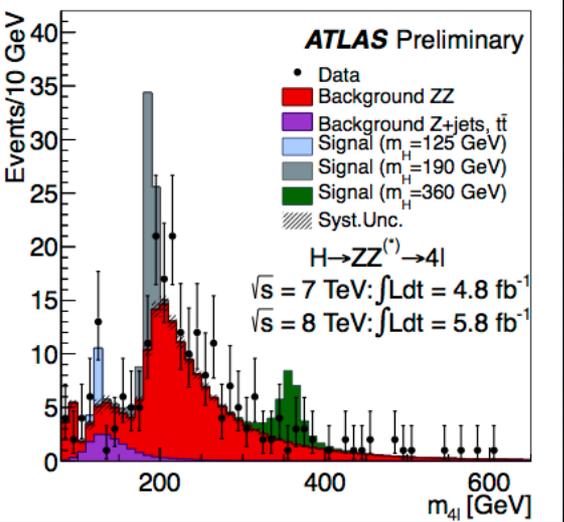
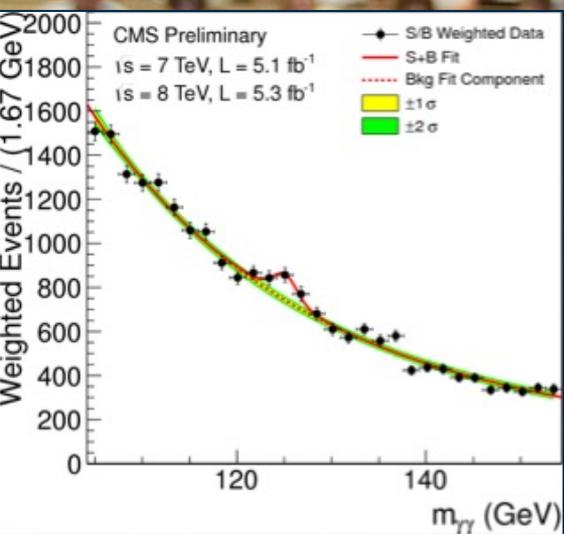
Kungliga Svenska Vetenskapsakademien
hav den 8 oktober 2013 beslutat att maldet
NOBELPRIS
som detta är tillerkännes den
som inom fysikens område gjort den
viktigaste upptäckten eller uppfinningen
gemensamt belöna
Peter W. Higgs
och François Englert
för den teoretiska upptäckten av en mekanism som
bidrar till förståelsen av massans ursprung hos
subatomära partiklar, och som utgjort, genom upptäckten
av den förutsagda fundamentala partikeln,
bekräftats av ATLAS och CMS-experimenten
vid CERNs acceleratör LHC.
• STOCKHOLM DEN 10 DECEMBER 2015 •



“Pour la découverte théorique d'un mécanisme contribuant à notre compréhension de l'origine de la masse des particules subatomiques, et qui a été confirmée récemment grâce à la découverte de la particule fondamentale prédite [le boson de Higgs] par les expériences ATLAS et CMS menées au Large Hadron Collider du CERN.”

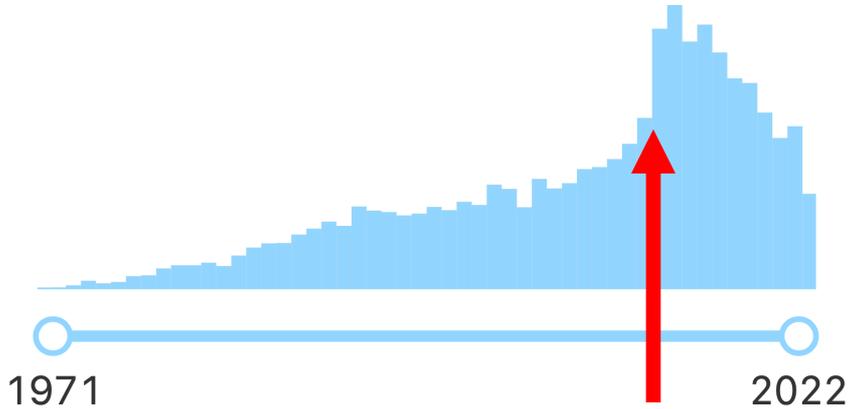






Depuis La découverte du boson de Higgs

Date of paper

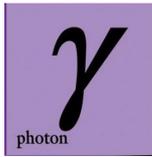


La moitié des publications
après 2012!

21,679 publications avec « Higgs » dans le titre
≈ 9000 avec top ou violation de CP
≈ 1300 avec Z boson ou W-boson
37000 avec neutrino!

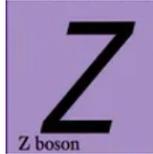
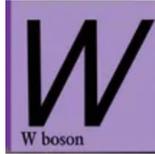
Qu'est-ce
que nous
avons
appris ?

Le Higgs pour les...



Interaction électromagnétique: photons, portée infinie décroissant, $m_\gamma = 0$

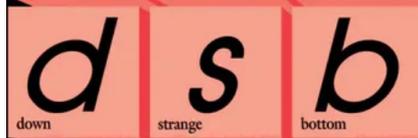
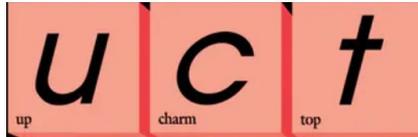
Interaction forte: gluons \rightarrow « portée infinie croissant avec auto-couplage » $\rightarrow m_g = 0$



Interaction faible : W et Z \rightarrow portée fini avec autocouplage $\rightarrow m_{W,Z} \neq 0$

Couplage au champ de Higgs: mécanisme de Brout, Englert, Higgs

$$L = gM_W W^{+\mu} W_{\mu}^{-} H + \frac{gM_Z}{\cos \theta_W} Z^{\mu} Z_{\mu} H + \dots$$

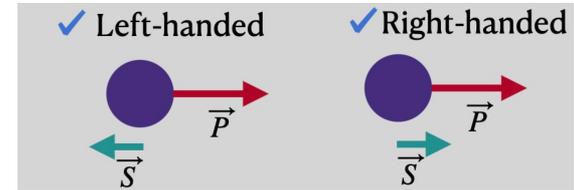


quarks et leptons: $m \neq 0$

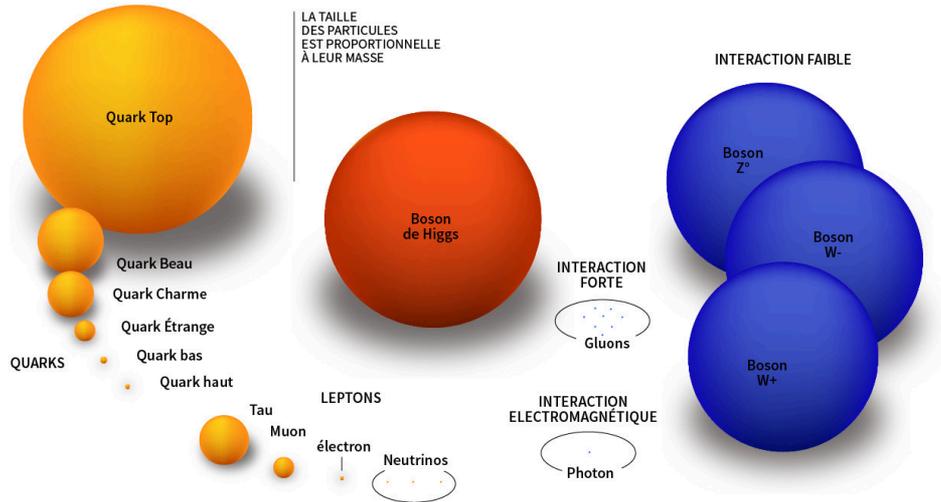
couplage au champs de Higgs : couplage de **Yukawa** entre un champ scalaire et un champ fermionique



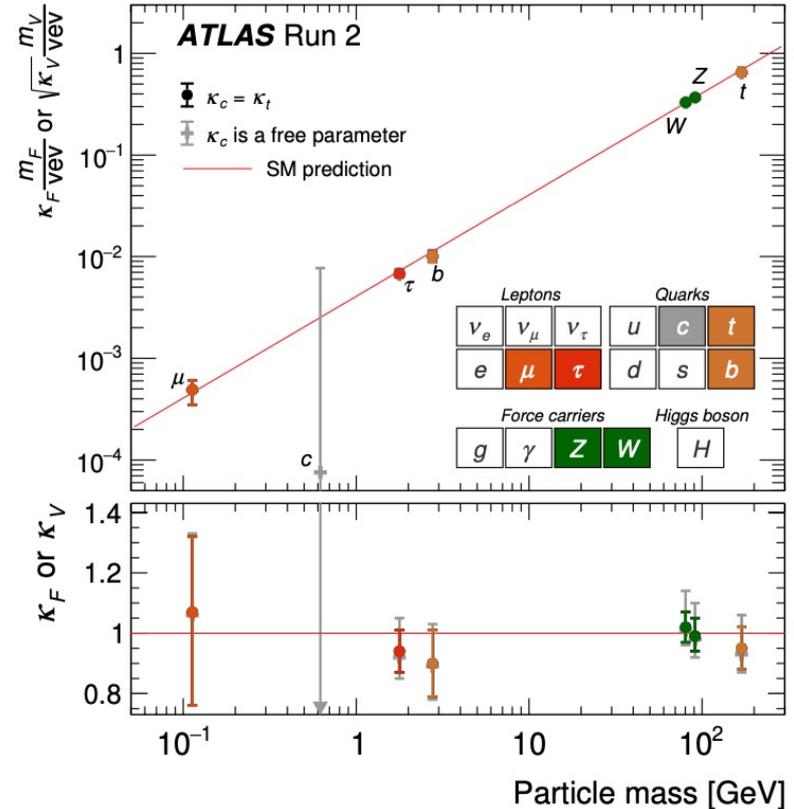
$$L = -\frac{m_f}{v} (\bar{f}_L f_R + \bar{f}_R f_L) H$$



Est-ce que Le Higgs est Le Higgs ?



- Le couplage des particules élémentaires (quarks, leptons, bosons) est proportionnel à leur masse
- Distinction des trois familles des particules: couplage au boson de Higgs!

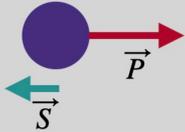


1ère génération couplage $\sim O(10^{-9})$: mesure (peut-être) par la production du Higgs dans un collisionneur e^+e^- "monochromatique"

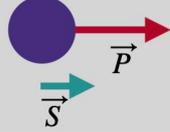
Et les neutrinos ?

Massive particles, but not neutrino

✓ Left-handed

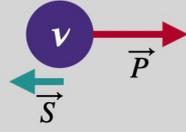


✓ Right-handed

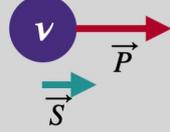


Neutrino

✓ Left-handed



✗ Right-handed



Modèle Standard:

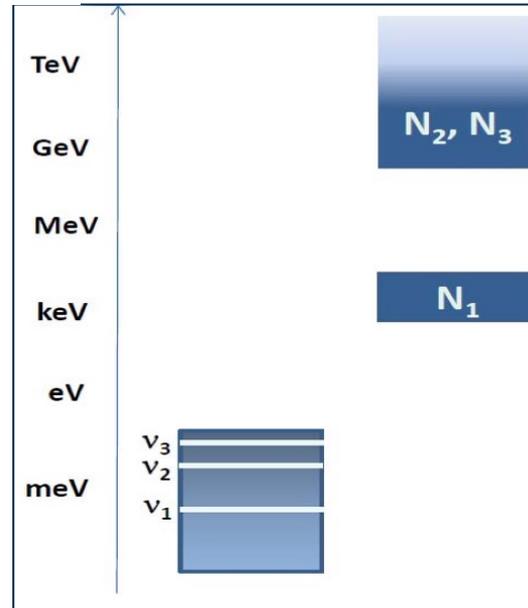
Pas de neutrinos droits !

1998: découverte de l'oscillation des neutrinos → neutrinos massifs

$$L = -\frac{m_f}{v} (\bar{f}_L f_R + \bar{f}_R f_L) H$$

Si les neutrinos acquièrent leur masse par le mécanisme de Higgs: des **neutrinos droits existent!**

"See-saw" mécanisme: les neutrinos droits seraient très lourds $\approx 10^{20}$ eV



Contrainte leptogénèse: masse > 140 MeV

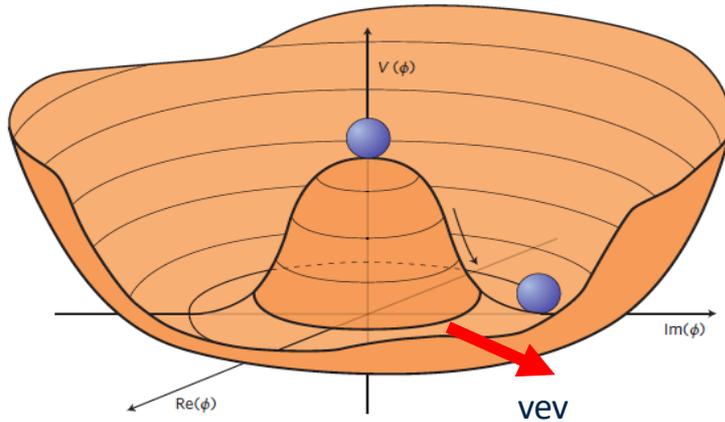
Contraintes des recherches de matière noire: masse = 1-50 keV

Et Le Higgs himself?

Le boson de Higgs a une masse

→ il couple à lui-même : $V(H) = \frac{1}{2} m_H^2 H^2 + \frac{1}{4} \lambda H^4$

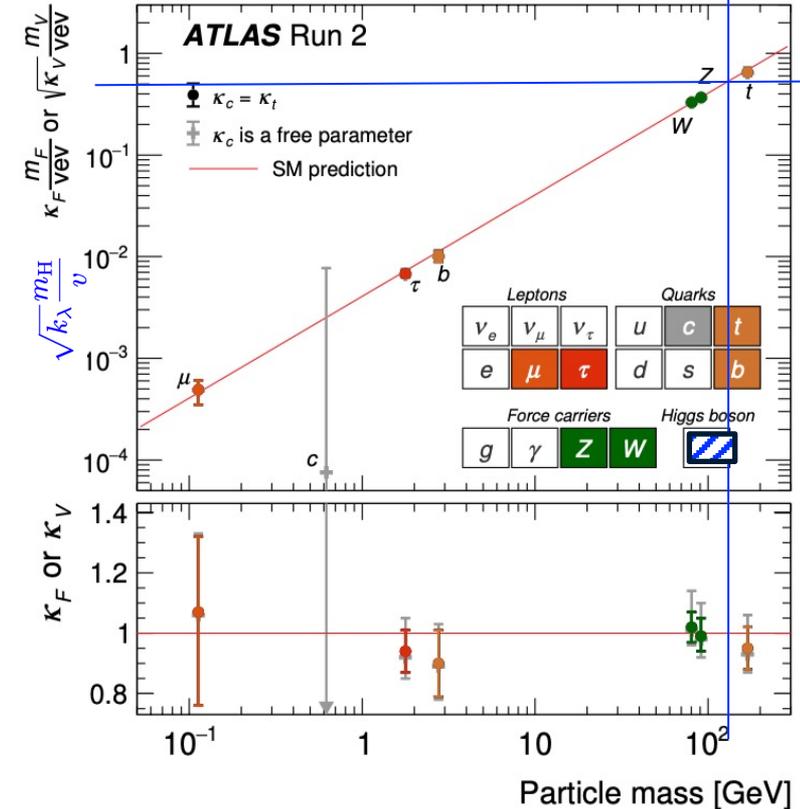
Higgs potential



Minimum du potentiel:

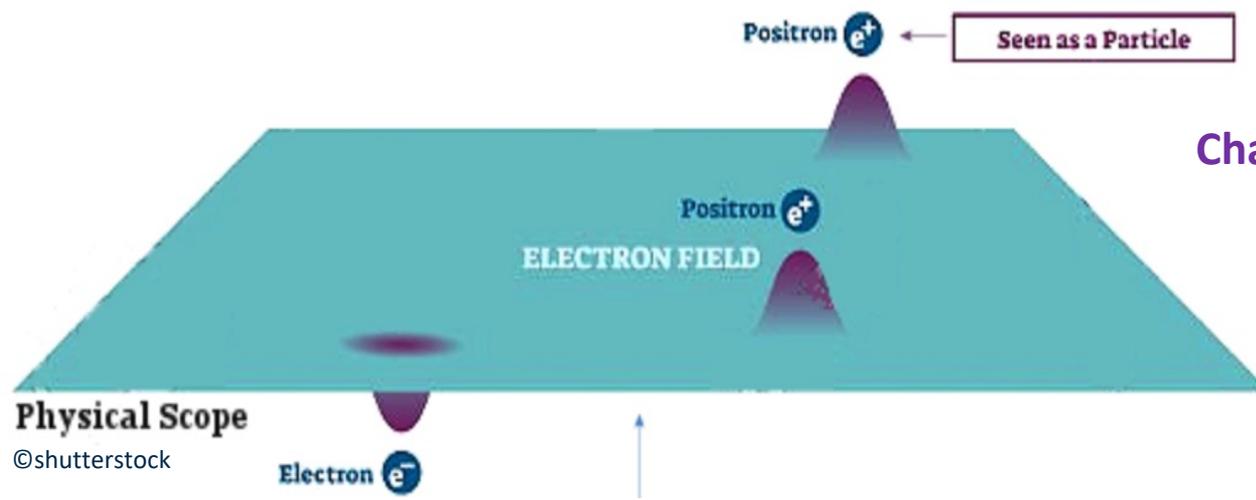
valeur d'expectation du vide (vev)

$$v = \frac{2MW}{g} = \sqrt{\frac{m_H^2}{\lambda}}$$



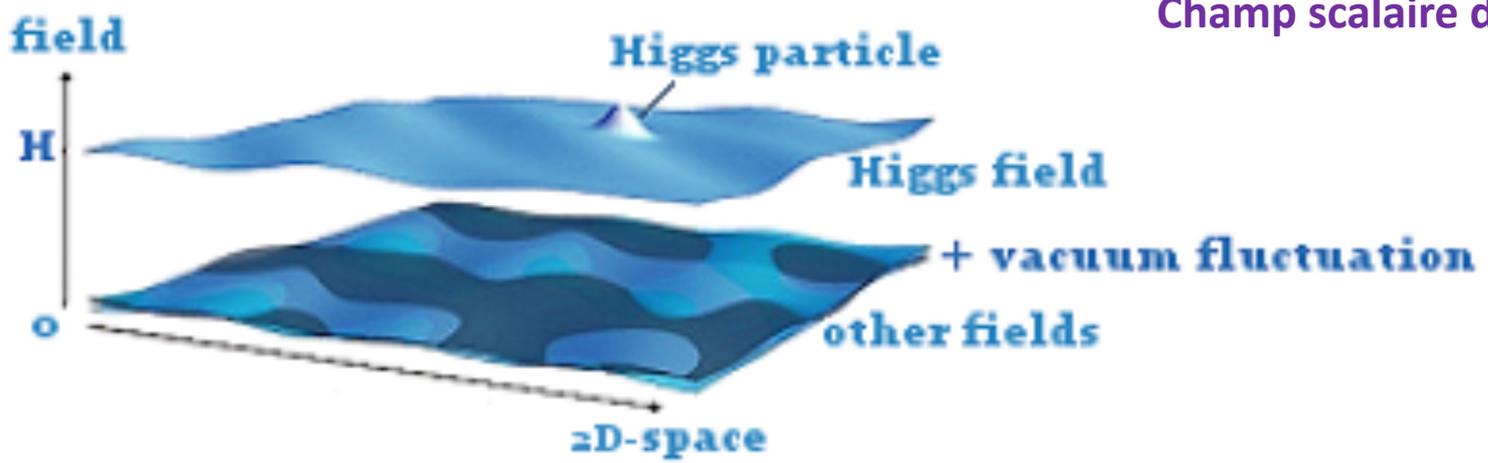
→ mesure du processus d'auto-couplage pour vérifier la cohérence

Le champs de Higgs



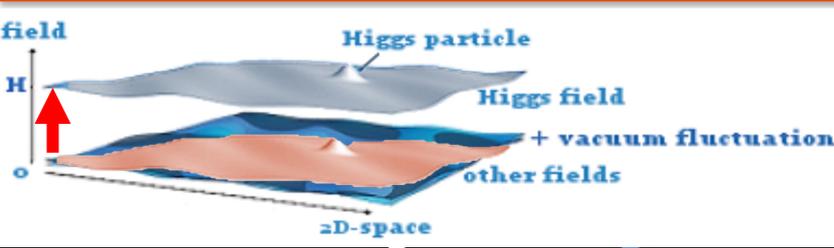
Champs des particules

Physical Scope
©shutterstock

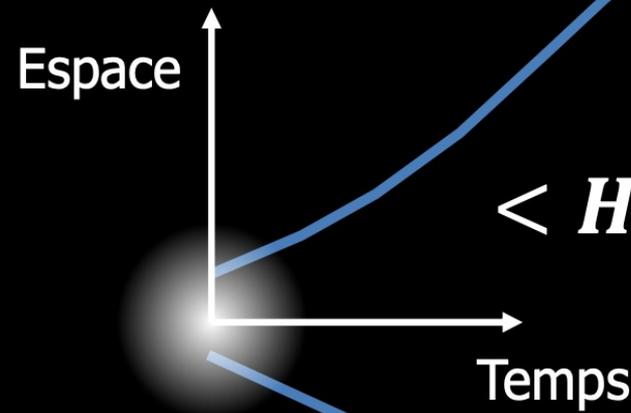


Champ scalaire de Higgs

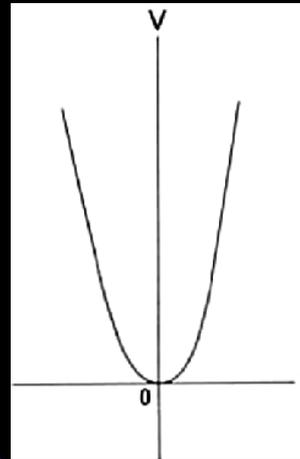
Le champs de Higgs dans L'Univers primordial



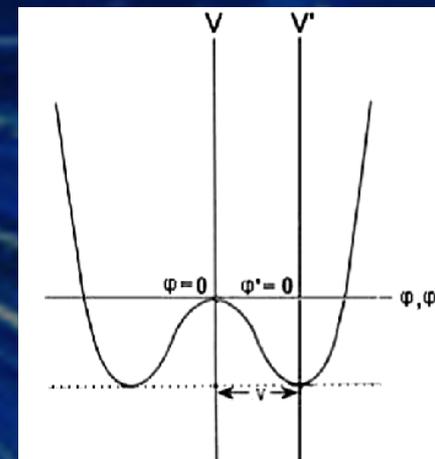
10⁻¹²s Transition de phase électrofaible



$$\langle H \rangle \sim 0$$



$$\langle H \rangle \neq 0$$

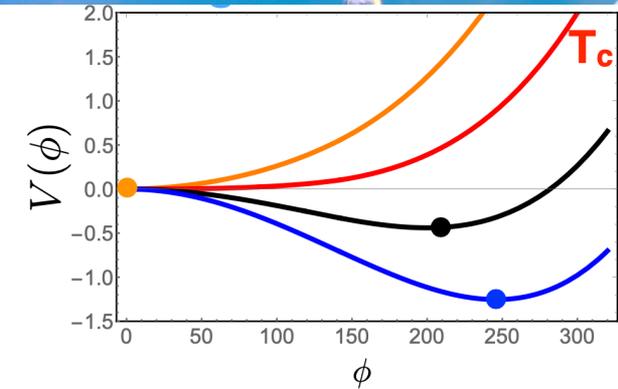


Merci à Y. Sirois!

Champ de l'INFLATON

Champ de HIGGS

Comment cette transition de phase a eu lieu?

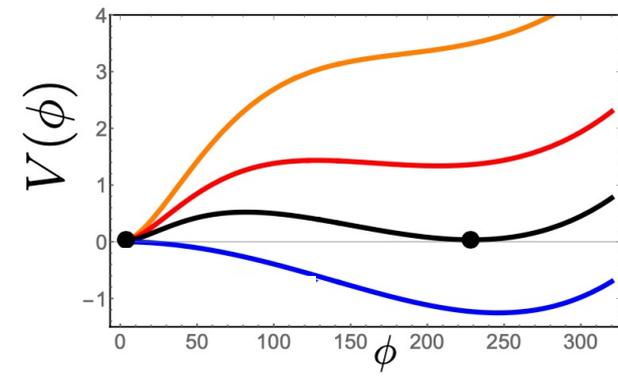


Transition de phase du 2nd order :

état d'équilibre thermique

→ scénario favorisé par le modèle standard avec $m_H > 70$ GeV

→ pas de création de la matière par baryogenèse/leptogenèse



Transition de phase du 1^{er} order :

→ formation de « bulles de notre vide » et effets tunnel:

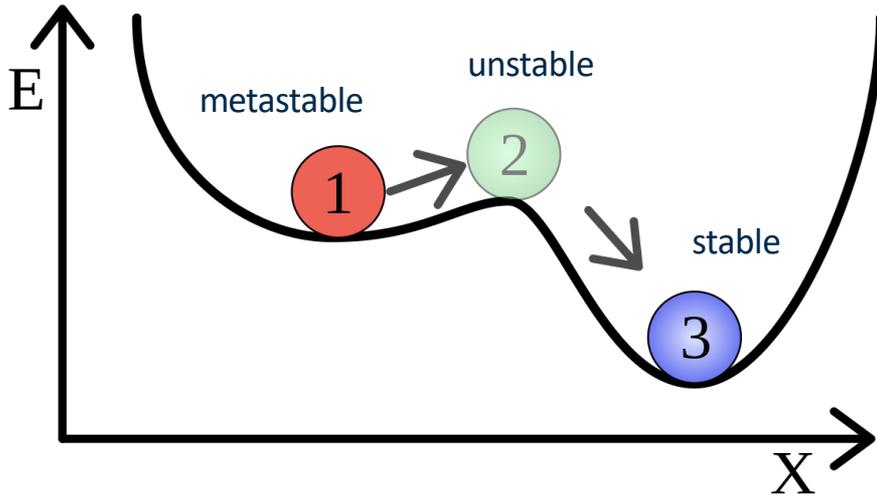
→ baryo-/leptogenèse possible

→ nécessite physique au-delà du modèle standard

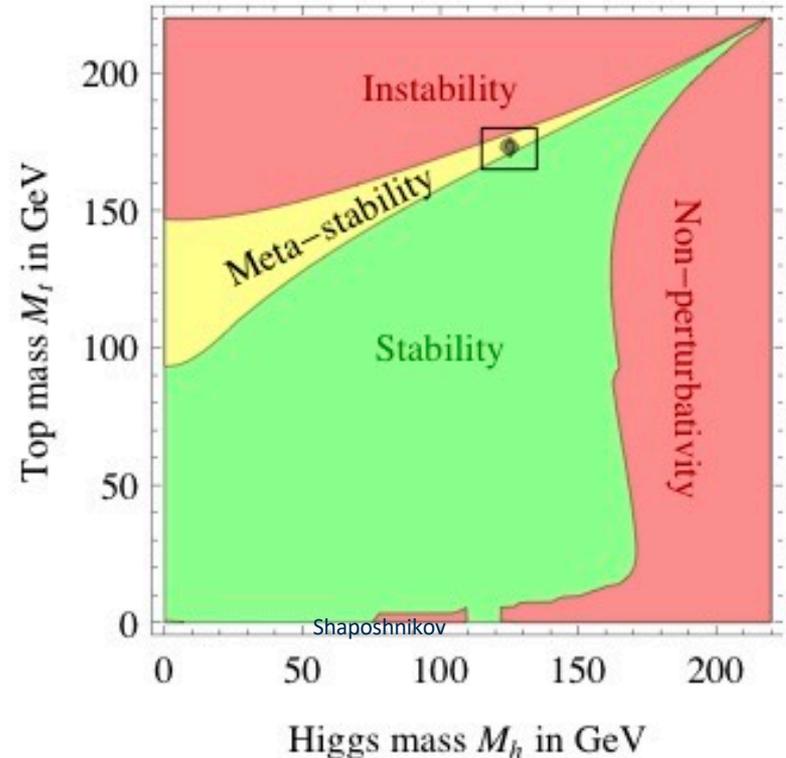
→ ondes gravitationnelles primordiales!

découverte du boson de Higgs → vide est dynamique!

- stabilité du vide est déterminée par les masses des particules lourdes : boson de Higgs et quark top → Calcul actuels indiquent une métastabilité

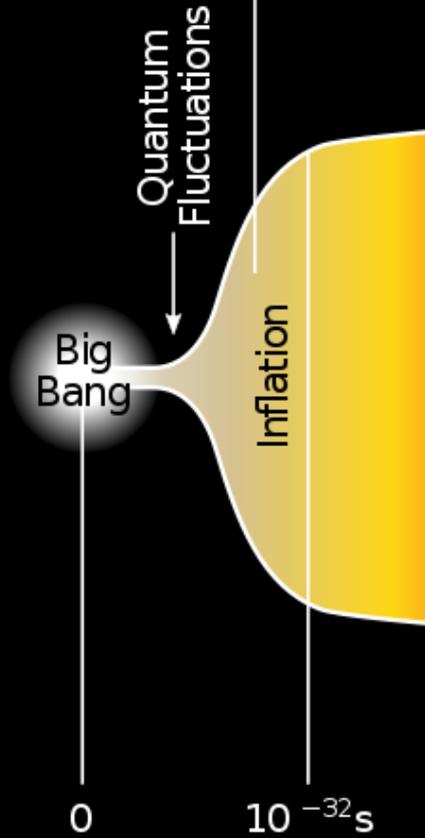


**Transition vers un autre vide?
Ou nouvelle physique?**

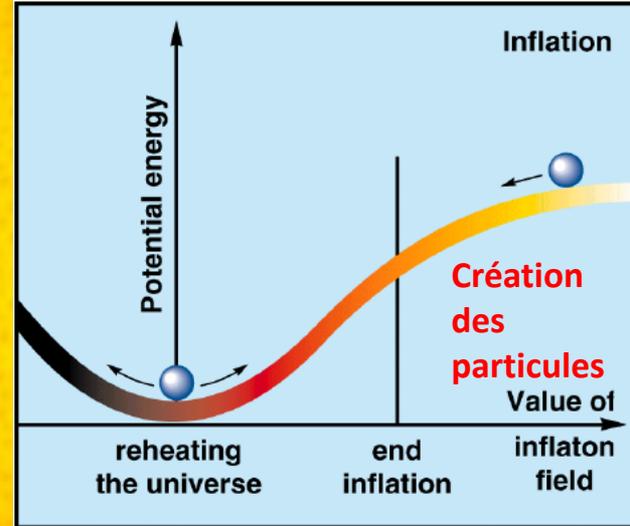


Le boson de Higgs et inflation cosmique ?

Radius of the Visible Universe



Univers homogène → modèle de l'inflation cosmique:
Expansion de l'Univers dans les premiers 10^{-34} s d'un facteur 10^{26}



- des champs scalaires existent !
- le Higgs est trop lourd:
- expansion engendré serait 10^{118} x trop rapide!

Recherche d'oscillations Higgs-inflaton

→ l'inflaton ne serait pas très léger.

Higgs: portail vers la matière noire ?

Recherches directe de matière noire:

- à haute masse vers le recul des noyau
à basse masse vers le recul d'électrons

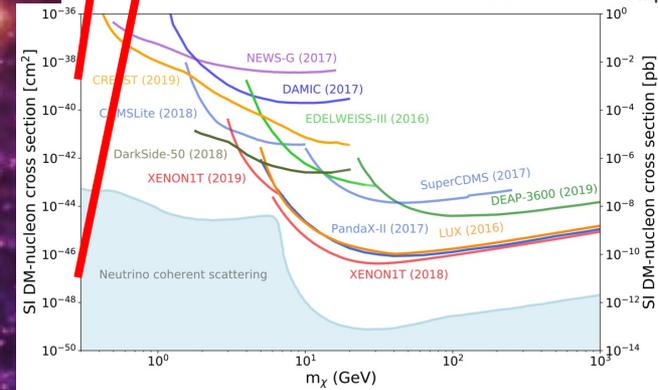
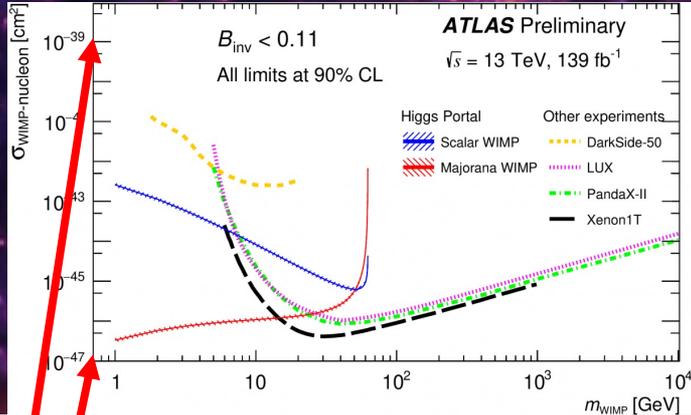
matière noire : couplage au boson de Higgs?

Recherche des processus $H \rightarrow XX$:

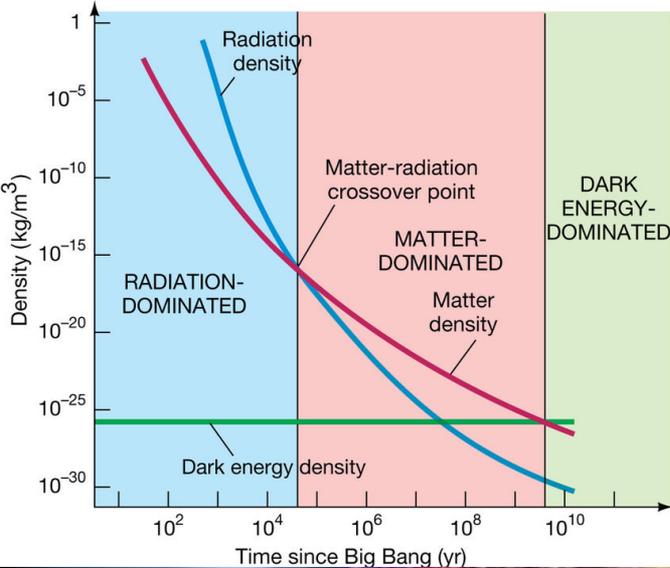
Exclude $\mathcal{B}(H \rightarrow Z_d Z_d)$ as low as $2-8 \times 10^{-5}$

Couplage du boson de Higgs à la matière
noire:

$\mathcal{B}(H \rightarrow \text{inv}) < 11\%$ at 90% CL



Énergie noire ?



Après la phase d'inflation l'expansion de l'Univers a différentes phases:

1. expansion rapide dominé par les photons et des particule relativistes
2. ralenti par la matière : attraction gravitationnelle
3. accéléré par l'“énergie noire”

« pourrait être une propriété de l'espace-temps même ou juste un grand malentendu comment marche la gravitation à l'échelle cosmique »

Recherche auprès des collisionneurs?

« essayer de déterminer la nature d'une interaction faible à long distance à l'aide des distances les plus courtes impliquant les énergies les plus élevées sur terre.. »

Le Prix Nobel de Physique va être annoncé le mardi 3 Octobre à partir de 11h45 à l'Académie Royale des Sciences de Suède

La cérémonie de la remise des prix aura lieu le 10 décembre dans la salle de concert de Stockholm.

Le Prix Nobel de Physique s'élève à environ 800 000€



Faut-il le Prix Nobel?



*Et vous c'est pour
quand?*

