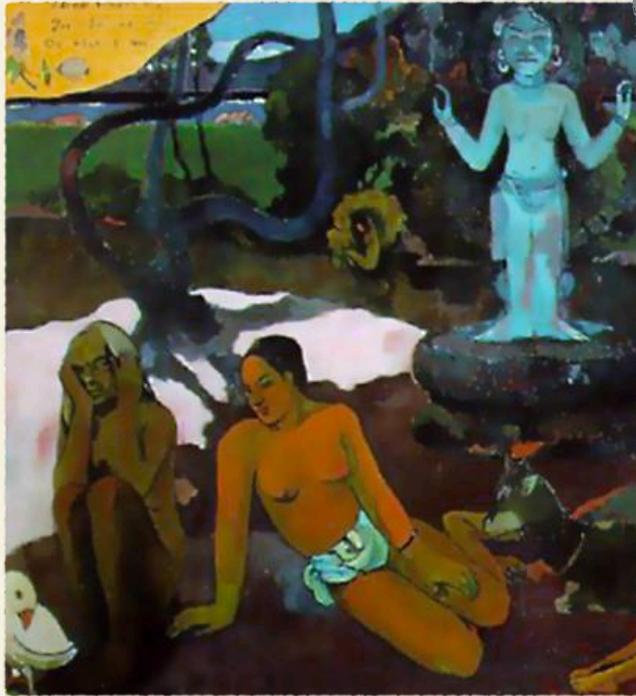


Sommes-nous seuls dans l'univers ?

Jérôme Margueron,
Institut de Physique des 2 infinis
Campus LyonTech La Doua, Lyon 1



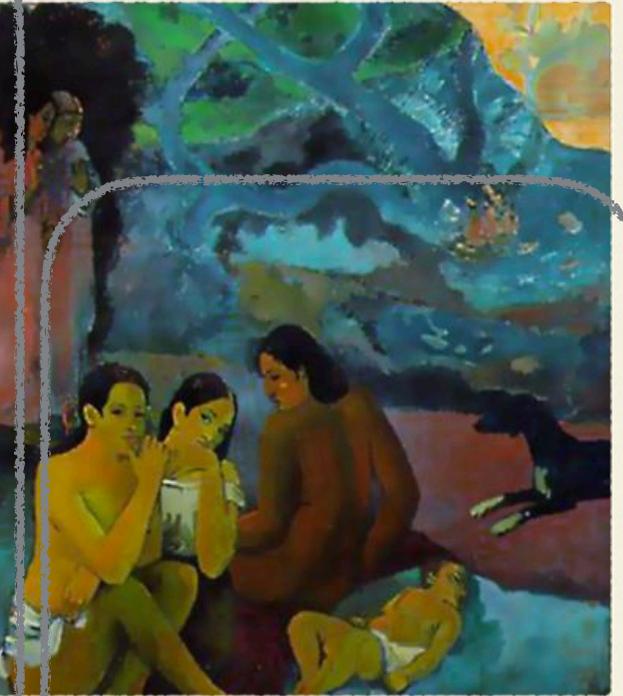


D'où venons nous ?
La mort et l'au-delà



L'existence quotidienne
des jeunes adultes

Que sommes nous ?



Où allons nous ?
Le début de la vie

Paul Gauguin, Tahiti, 1897



D'où venons nous ? Que sommes nous ? Où allons nous ?
Nos origines ? Notre humanité ? Nos civilisations ? Notre destin ?

=> Ces questions sont aussi adressées aux scientifiques

Nos origines ? Notre humanité ? Nos civilisations ? Notre destin ?



Origines et évolutions de la vie ? [biologie]

Origine des éléments/atomes ? [astrophysique nucléaire]

Origine des briques encore plus élémentaires et de la masse ? [physique des particules]



La science cherche à comprendre l'enchaînement de causes à effets qui ont conduit à l'apparition de la vie sur Terre, puis à l'Homme.

Mais comment répondre à la question : sommes-nous seuls dans l'univers ?

La vie s'est-elle aussi développée ailleurs ?

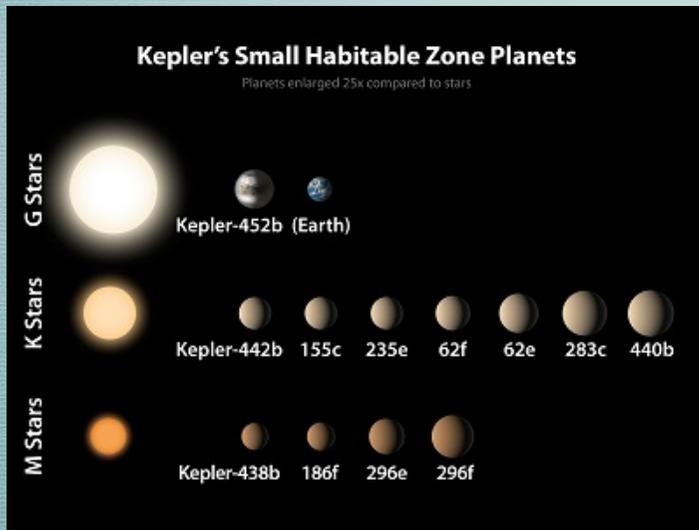
=> Il faut rechercher des exoplanètes viables et des signes de vie (SETI, METI, ...)



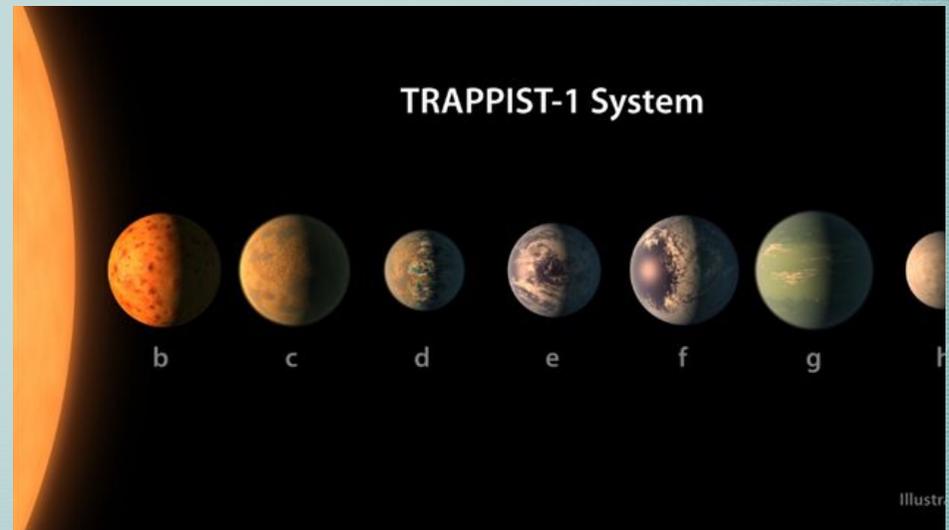
À la recherche des exoplanètes

**1995 : Mayor et Queloz découvrent la première exoplanète.
Actuellement, plus de 4000 exoplanètes découvertes !
Dont plusieurs dizaines de super-Terres.**

Satellite Kepler (2009-2018)



Système découvert en 2015 à 40 al de la Terre



Représentation artistique de la douzaine de planètes découvertes par Kepler qui ont des caractéristiques relativement proches de celles de la Terre. Crédit :

[NASA Ames/JPL-CalTech/R. Hurt](#)

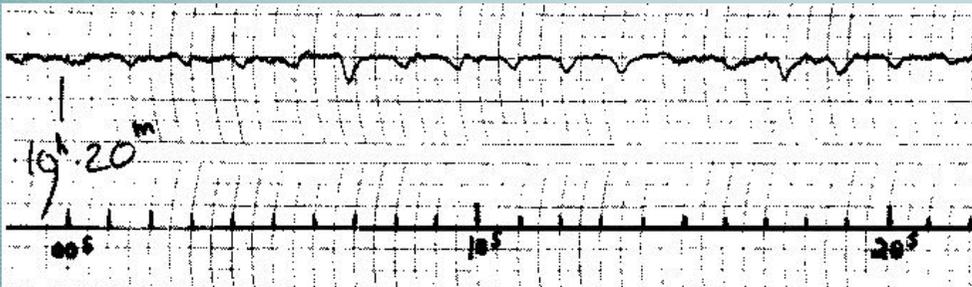
1967, une civilisation **extra-terrestre** nous envoie t-elle des ondes radios ?

Anthony Hewish et sa doctorante **Jocelyn Bell** étudient la scintillation du ciel en ondes radio avec un radio-télescope.

Cette étude leur impose, contrairement aux autres équipes, à analyser les données brutes. C'est-à-dire, à ne pas filtrer le signal (exemple : moyenne dans le temps pour retirer les signaux d'origine terrestre).



Dans le mois qui suit la mise en service du RT, J. Bell trouve une source oscillant à $T=1,37$ seconde.



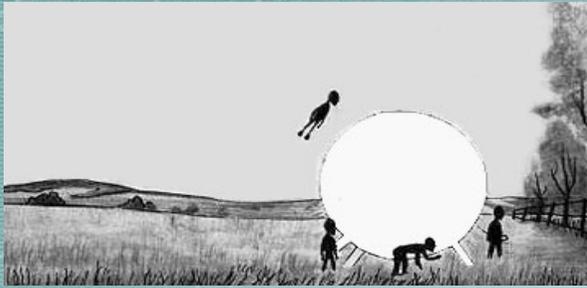
Jocelyne Bell avait remarqué qu'un signal pulsé revenait chaque jour solaire avec 4 minutes de décalage, donc revenait chaque **jour sidéral**, donc provenait d'une **source extrasolaire**.

Comment un signal si rapide et régulier peut-il provenir de l'espace ?

Est-ce un signal de vie extra-terrestre ?

Les premières sources sont nommées LGM1, LGM2, etc... pour **Little Green Man**

1967, une civilisation **extra-terrestre** nous envoie t-elle des ondes radios ?



Dessin témoignage
OVNI à Cussac
(France) en 1967.
[Joël Mesnard]

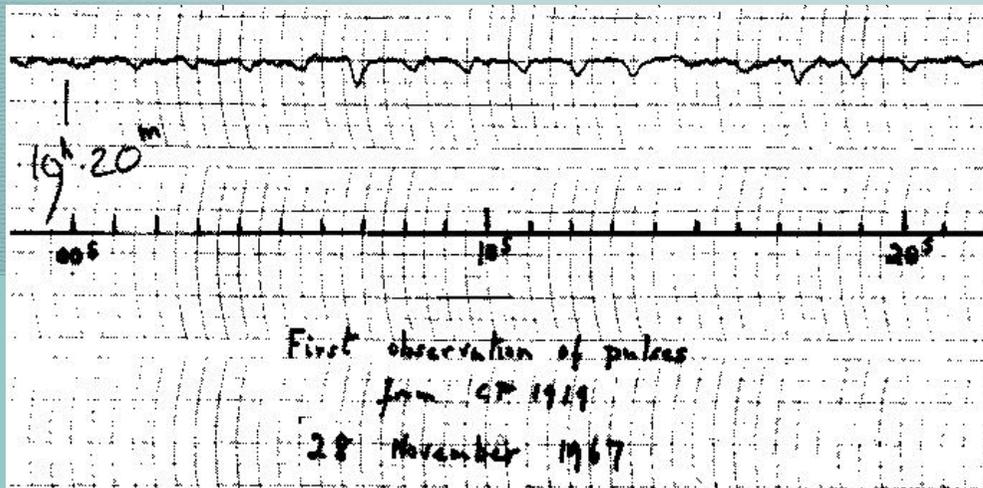


OVNI « vu » en
1967 à Rhode
Island
[Harold Trudel]

La régularité des pulsations joue en faveur d'un mécanisme lié à la rotation d'un astre. La rapidité des pulsations laisse penser que la source des oscillations est de petite dimension.

Peut-être une naine blanche ? ou une (hypothétique) étoile à neutrons ?

=> On parle de **pulsar** !

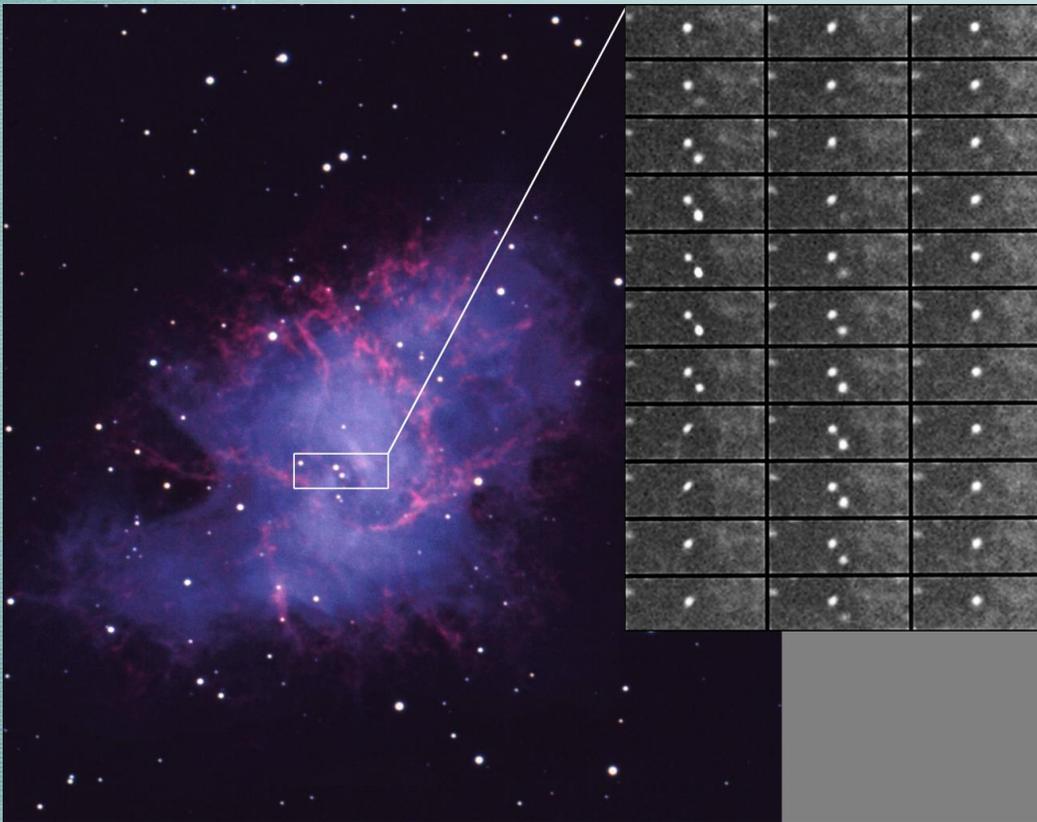


En quelques mois on découvre d'autres sources (depuis 8 observatoires différents).

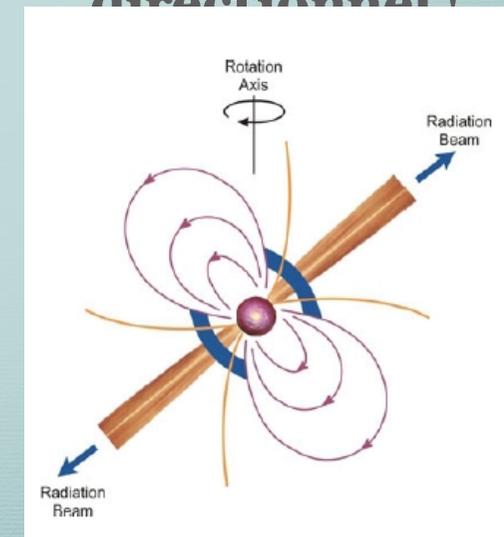
Cette découverte a été récompensée par un prix Nobel en 1974. Mais A. Hewish a été récompensé seul...

1967, une civilisation ~~extra-terrestre~~ nous envoie t-elle des ondes radios ?
Il s'agit plutôt d'un signal provenant d'un pulsar

Oscillation de la pulsation de l'astre



Raison de cette pulsation : l'astre rayonne un faisceau directionnel !



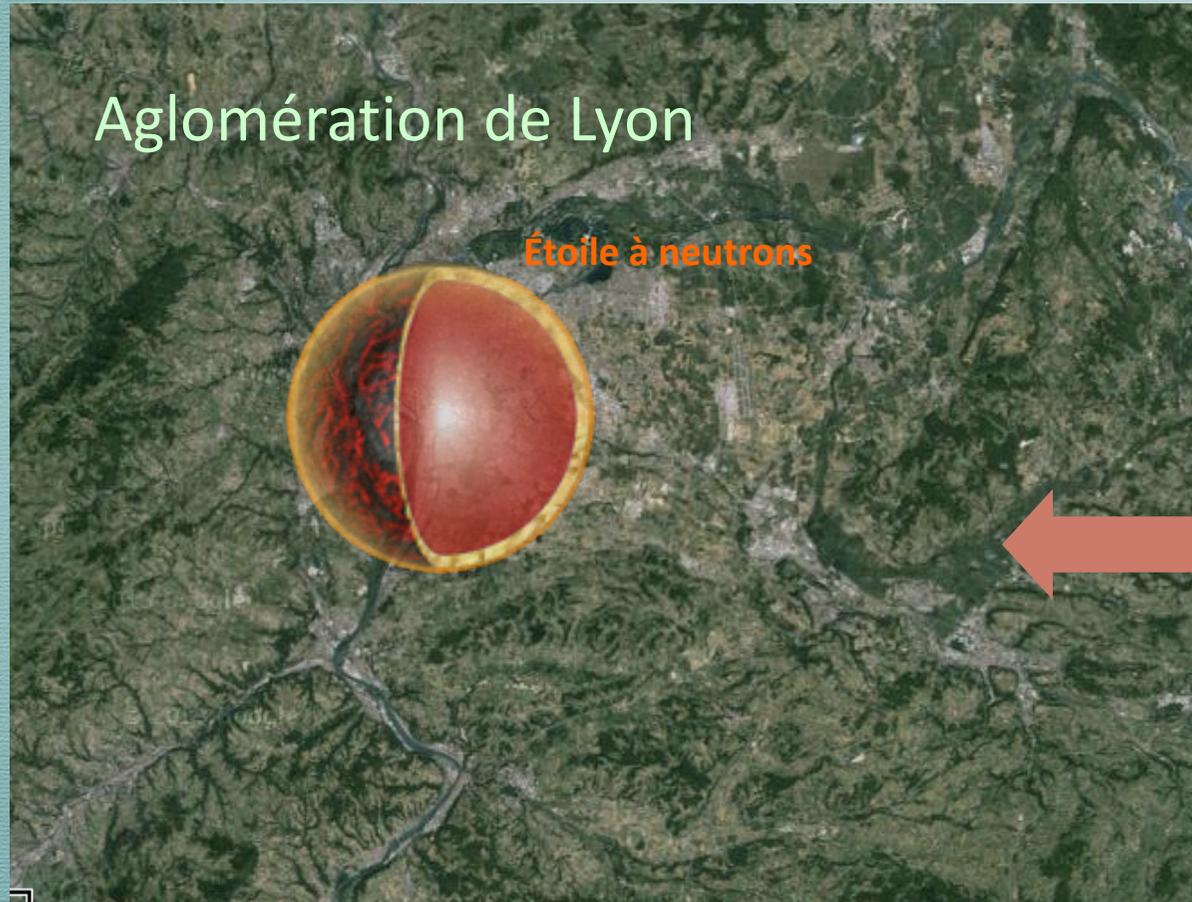
Mais c'est quoi un pulsar ?

Etoiles typiques	Super-Géante rouge	Géante bleue	Étoile normale	Naine blanche	Étoile à neutrons
Exemple	<i>Aldebaran</i>	<i>Alcyone</i>	<i>Soleil</i>	<i>SiriusB</i>	<i>crabe</i>
R (R_{\odot}) (10km)	44	9	1	0,008	10^{-5}
M (M_{\odot})	1,16	6	1	1,03	1,4
Densité (g/cm ³)	2×10^{-5}	10^{-2}	1.4	2×10^6	6×10^{14}



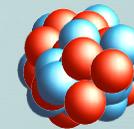
Mais c'est quoi un pulsar ?

Étoile à neutrons :
astre le plus
compact connu.



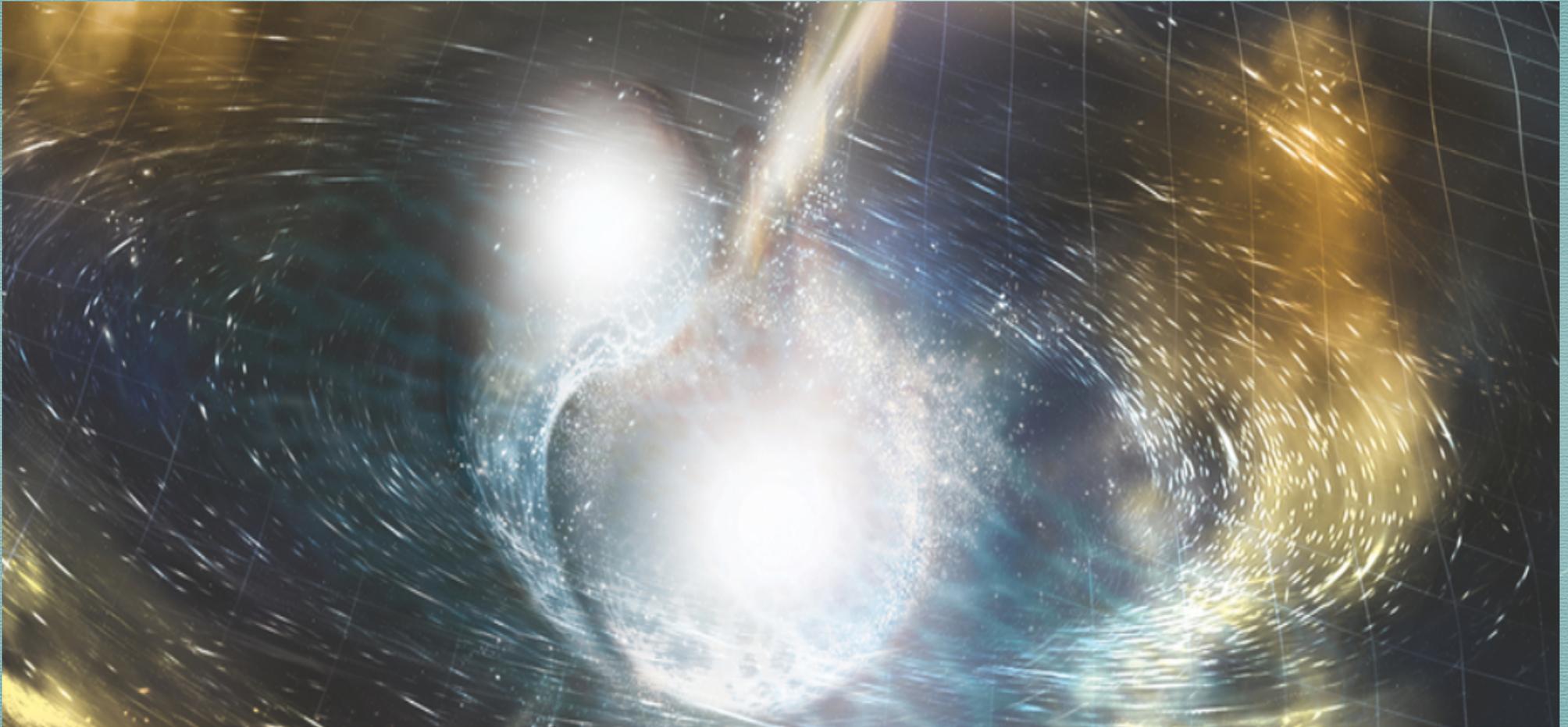
Nombre de
particules $\sim 10^{57}$
Rayon 10-15 km
Masse 1-2 M_{\odot}
Densité $\sim 10^{14-15} \text{ g/cm}^3$

Le noyau de l'atome



Nombre de
particules $\sim 2-300$
Rayon 3-5 fm (10^{-15} m)
Masse $m_p = 1.67 \times 10^{-22} \text{ g}$
Densité $\sim 3 \times 10^{14} \text{ g/cm}^3$

17 août 2017 : première détection de la coalescence de 2 étoiles à neutrons



Cataclysmic Collision Artist's illustration of two merging neutron stars. The rippling space-time grid represents gravitational waves that travel out from the collision, while the narrow beams show the bursts of gamma rays that are shot out just seconds after the gravitational waves. Swirling clouds of material ejected from the merging stars are also depicted. The clouds glow with visible and other wavelengths of light. Image credit: NSF/LIGO/Sonoma State University/A. Simonnet

Octobre 2017: publication des résultats et conférence de presse
<https://www.youtube.com/watch?v=mtLPKYI4AHs&t=105s>

Décembre 2017: Conférence de presse JINA-CEE
<https://www.youtube.com/watch?v=CxxmaLx-4e0>

FIRST COSMIC EVENT OBSERVED IN GRAVITATIONAL WAVES AND LIGHT



Une nouvelle aire : l'astronomie multi-messagers

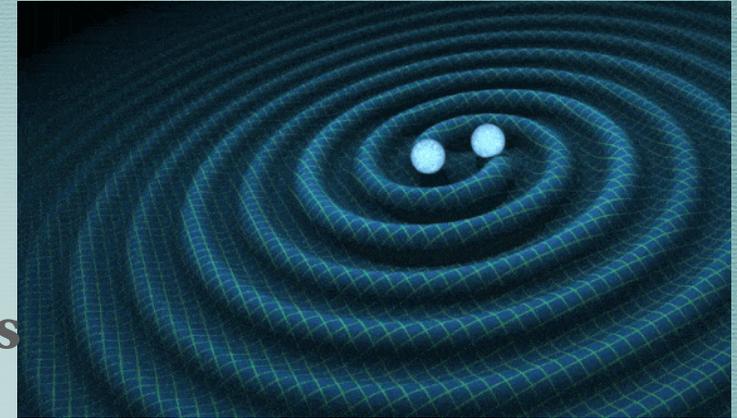


C'est quoi une onde gravitationnelle ?

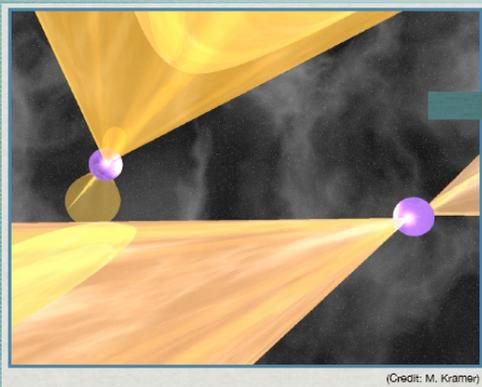
C'est une distorsion de l'espace-temps prédite par Einstein en 1916.

Elles sont 10^{35} plus faibles que les ondes électromagnétiques comme la lumière.

=> pour les voir il faut observer de très gros objets.



Première détection indirecte : un système binaire de 2 étoiles à neutrons :

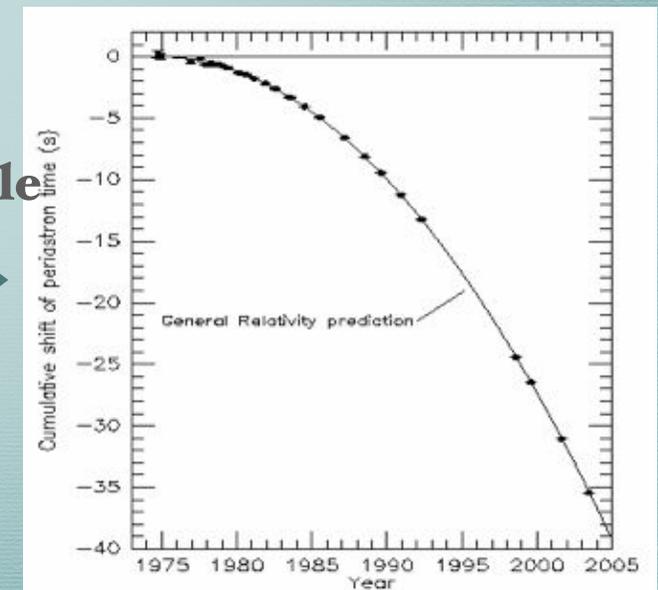


émission d'onde gravitationnelle

=> perte d'énergie

=> rapprochement des étoiles

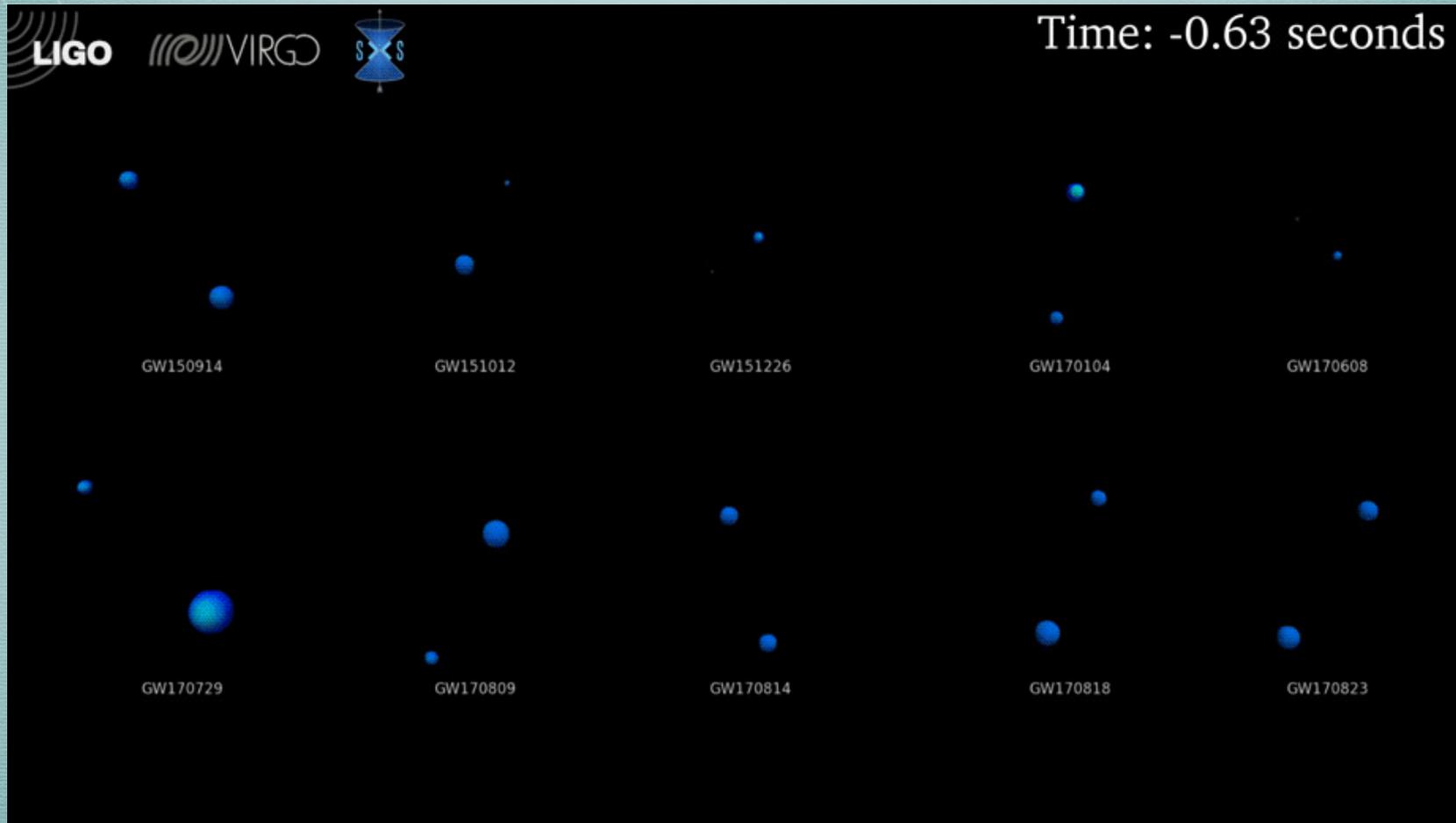
Pulsars de Hulse et Taylor, prix Nobel en 1993.



Weisberg & Taylor, astro-ph/0407149

Première observation directe : coalescence de trous noirs (sept. 2015)

A la recherche de murmures aux confins de l'Univers !



Visualizations of the 10 black hole collisions detected by LIGO so far, along with the gravitational-wave signals they produced.

[Teresita Ramirez, Geoffrey Lovelace, SXS Collaboration, and LIGO Virgo Collaboration](#)

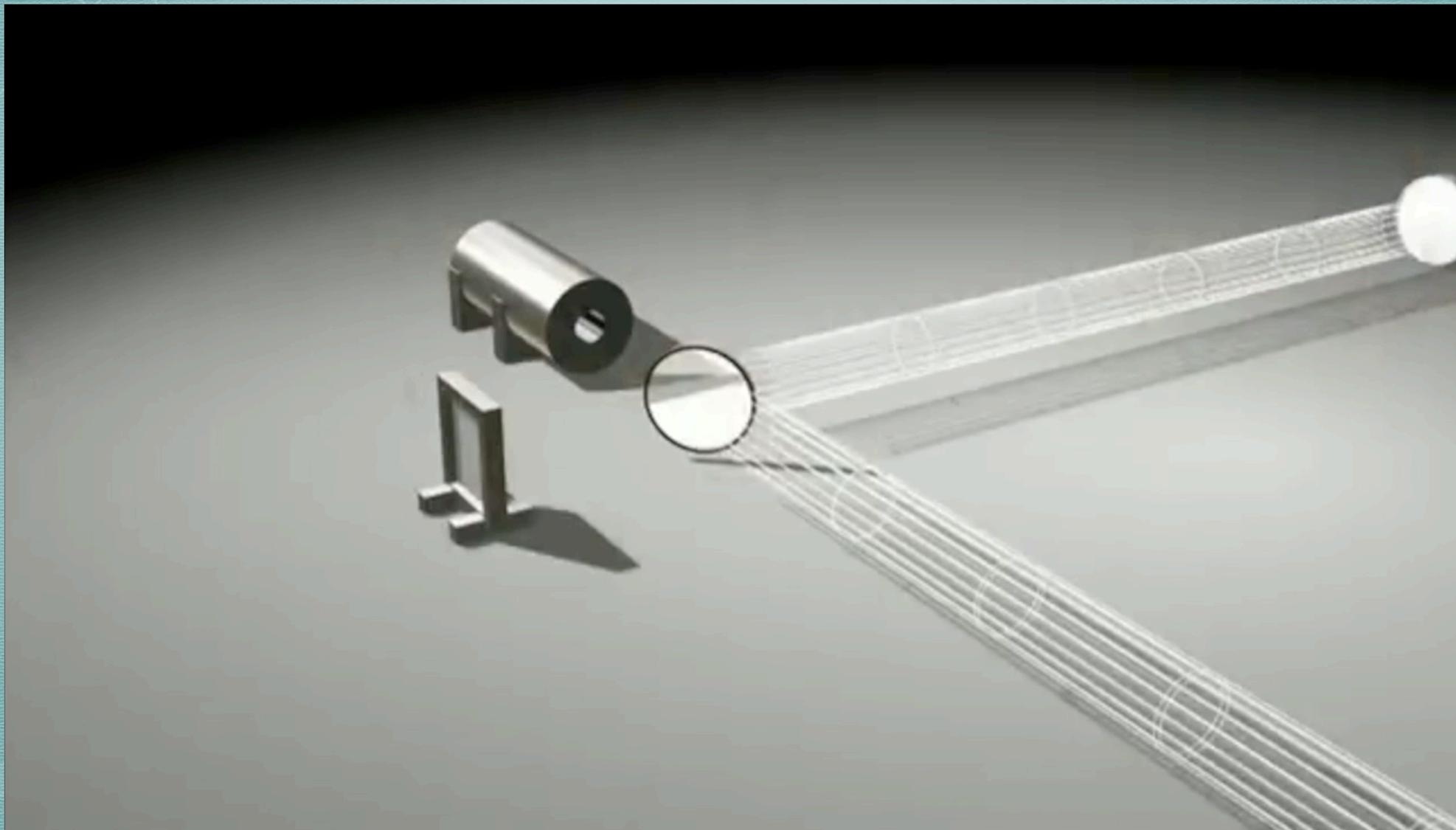
Vue aérienne d'un interféromètre pour la détection des ondes gravitationnelles (LIGO Livingston et Hanford)



Vue aérienne d'un interféromètre pour la détection des ondes gravitationnelles (Virgo, Toscane)



Principe de fonctionnement d'un interféromètre pour la détection des ondes gravitationnelles

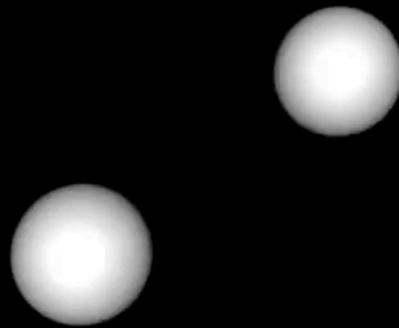


Vue d'artiste de l'évènement du 17 août 2017

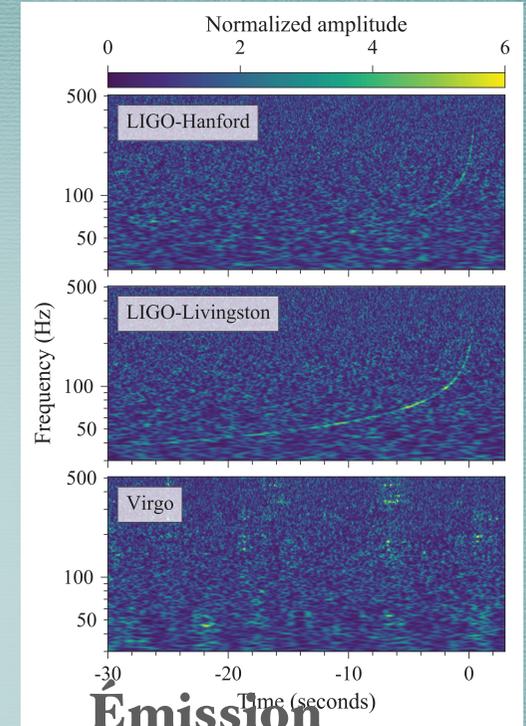
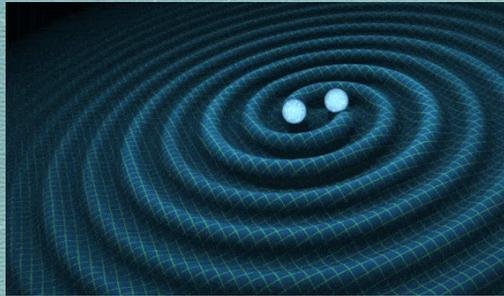


Simulation numérique de l'évènement du 17 août 2017

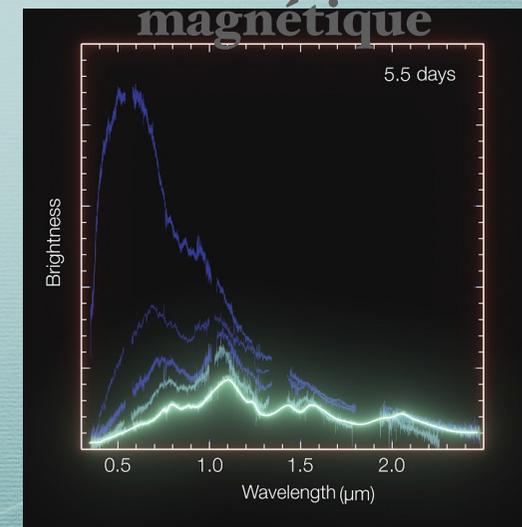
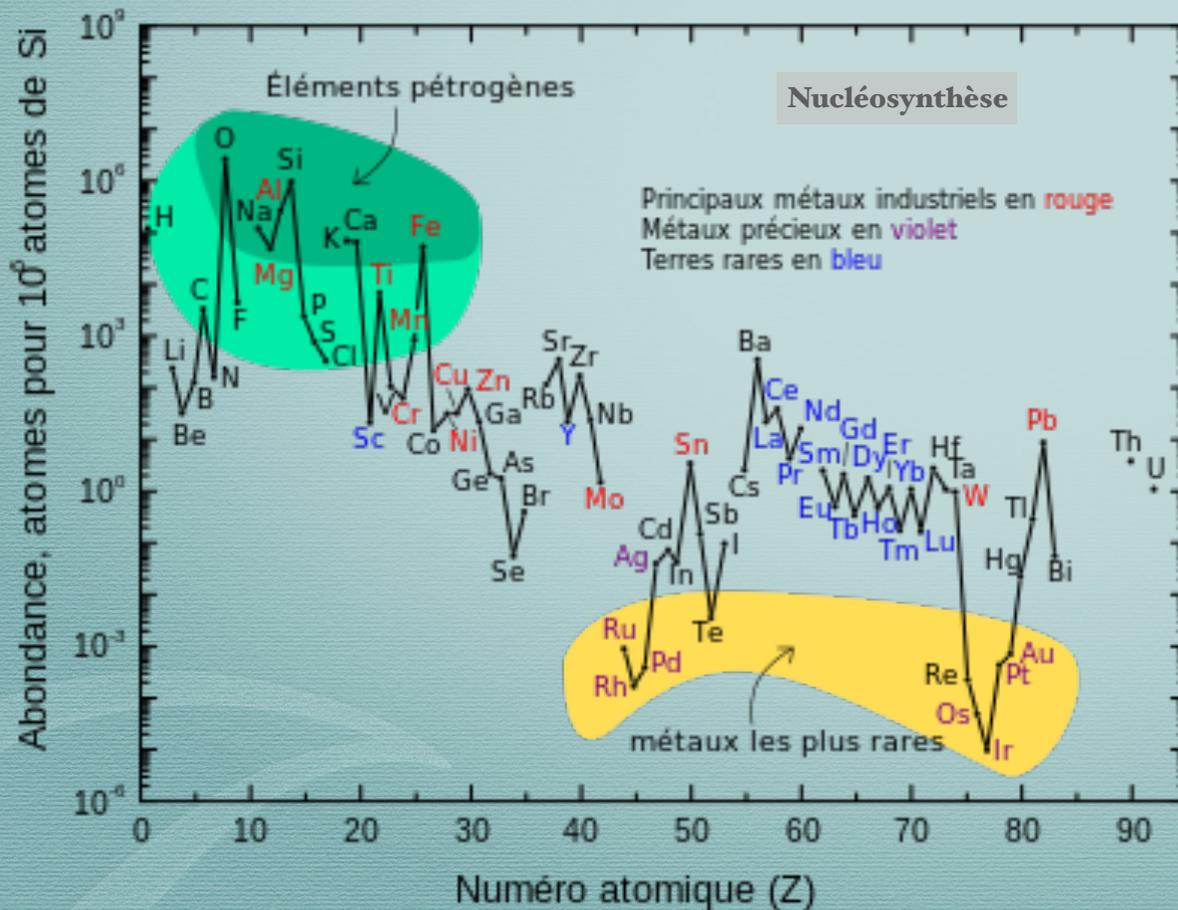
$t = 0.0$ ms



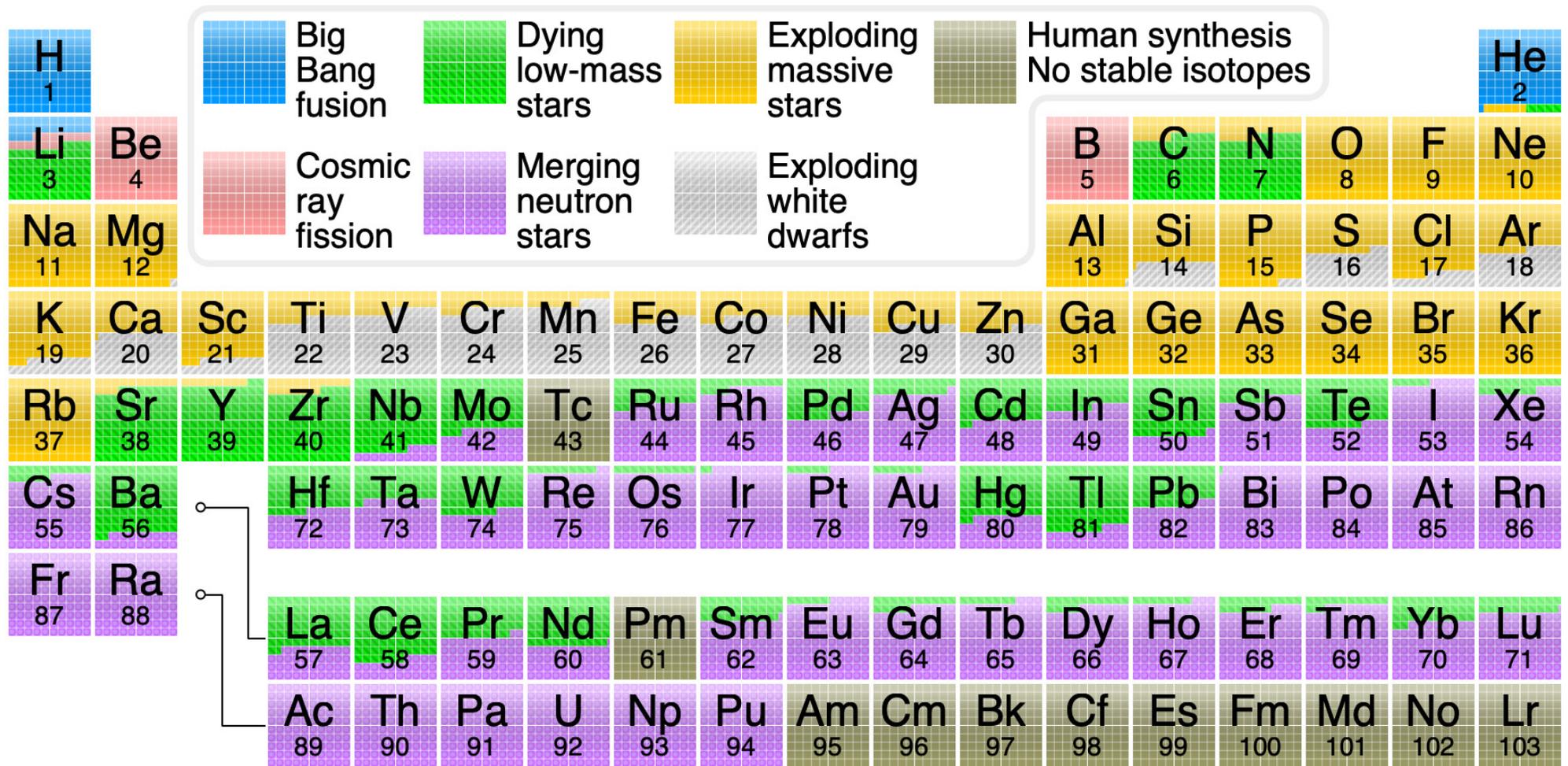
Kilonova : site de production principal des éléments lourds ?



Émission électro-magnétique



Résumé de la connaissance actuelle sur l'origine des éléments



From Jennifer Johnson, <http://blog.sdss.org/2017/01/09/origin-of-the-elements-in-the-solar-system/>

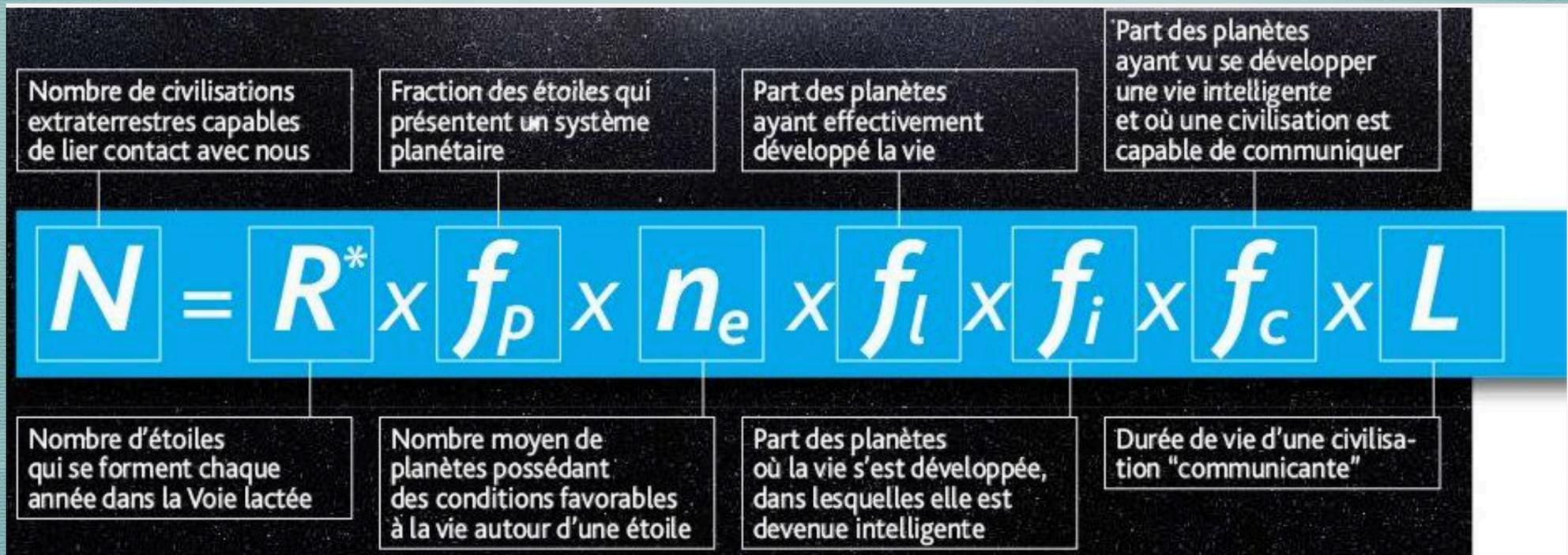
Rappelons notre question originale : sommes-nous seuls dans l'univers ?

Paradoxe de Fermi (1950) :

S'il y avait des civilisations extraterrestres, leurs représentants devraient être déjà chez nous. Où sont-ils ?



Equation de Frank Drake (1961)



Si nous trouvons une autre forme de vie, comment voyager d'une étoile à une autre ?

Les techniques de propulsion spatiales existantes sont basées sur le principe de conservation de l'impulsion :

$$\Delta m \times V_{ej} = M \times \Delta v$$

Masse éjectée \nearrow \nwarrow Vitesse gagnée

Actuellement, on sait atteindre des vitesses de 20 km/s.

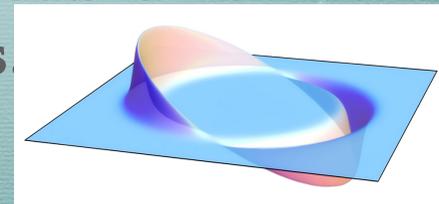
=> 100 000 ans pour atteindre l'étoile la plus proche

(alpha du centaure à 4 al)

32 étoiles à moins de 15 années-lumières?

Modes de propulsion alternatifs (science-fiction) :

- utiliser la fission nucléaire : permet d'augmenter la vitesse atteinte.
 - utiliser de l'antimatière : seule façon de récupérer toute l'énergie ($E=mc^2$).
 - Distordre de l'espace-temps : propulsion Alcubierre
- Métrie formée avec des masses négatives
Très très très hypothétique...



Sommes-nous seuls dans l'univers ?

Peut-être que oui ? Peut-être que non ? Nous progressons, mais nous n'avons encore aucune certitude.

"Théoriquement, il n'y a rien qui nous empêche d'imaginer qu'il y a d'autres planètes habitées avec d'autres formes de vie. Et, peut-être simplement, des formes de vie très primitives, comme le plancton dans les océans », Hubert Reeves.

Les difficultés sont encore nombreuses. Il reste :

- **À savoir quelles sont les conditions d'apparition de la vie, et de son maintien jusqu'à une forme intelligente,**
- **À communiquer avec d'éventuelles autres formes de vie intelligentes,**
- **À savoir voyager d'une étoile à une autre (voyage interstellaire).**

**Nous pouvons aussi attendre la venue d'extra-terrestres ?
Mais seront-ils amicaux ? (avertissement de Stephen Hawking, 2015)**

Sommes-nous seuls dans l'univers ?

Mais peut-être que nous sommes vraiment seuls ? Pourquoi pas ?

Notre destin ne serait-il pas de coloniser l'univers ?

La route est longue avant le voyage interstellaire et de nombreux obstacles pourraient empêcher cet objectif :

- **la fin de l'humanité (guerres, réchauffement climatique, instabilités, épuisement des ressources, etc...).**
- **La limitation de nos technologies (tout n'est pas possible, et l'imagination humaine dépasse souvent même la fiction !).**

Nos origines ? Notre humanité ? Nos civilisations ? Notre destin ?