



www.cnrs.fr

Le « paradoxe » de Fermi

Gabriel Chardin, CNRS



Le paradoxe de Fermi

- Nombre estimé de planètes dans notre galaxie: probablement plusieurs dizaines de milliards (très probable > 100 milliards)
- Nombre de planètes pouvant accueillir la vie: nombre inconnu, mais se comptant probablement en grd nbre de millions
- Pourquoi ne sommes-nous pas envahis par des touristes extraterrestres ?

Le paradoxe de Fermi

- Nombre d'étoiles dans la Voie Lactée : ≈ 200 milliards
- Nombre de planètes par étoile : encore assez imprécis pour les planètes telluriques, mais devient de plus en plus précis pour les « Jupiter »
- Très probablement plus d'une planète par système solaire
- Note : une étoile sur deux fait partie d'un système binaire

L'équation de Drake

- Frank Drake (1930-) : astronome américain
- Quantifier les chances de communiquer avec d'éventuelles civilisations extraterrestres (voir Wikipedia) :

$$N = R^* \times f_p \times n_e \times f_l \times f_i \times f_c \times L$$

- R^* est le nombre d'étoiles en formation par an dans notre galaxie ;
- f_p est la fraction de ces étoiles possédant des planètes ;
- n_e est le nombre moyen de planètes potentiellement propices à la vie par étoile ;
- f_l est la fraction de ces planètes sur lesquelles la vie apparaît effectivement ;
- f_i est la fraction de ces planètes sur lesquelles apparaît une vie intelligente ;
- f_c est la fraction de ces planètes capables et désireuses de communiquer ;
- L est la durée de vie moyenne d'une civilisation, en années.

L'équation de Drake

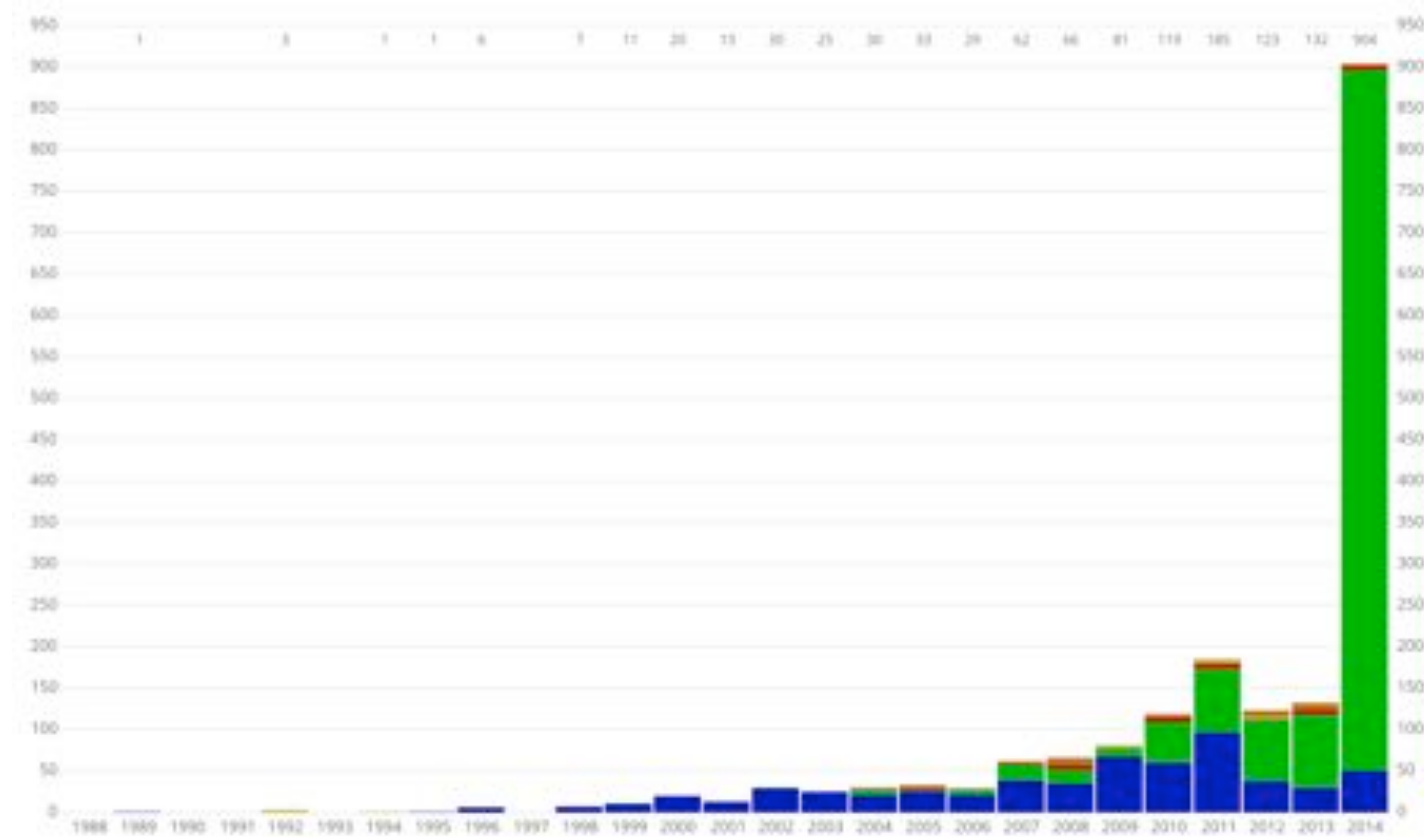
- Bonne précision sur les deux premiers termes R^* et f_p
- Progression rapide des connaissances sur les exoplanètes
- Environ 2000 exoplanètes confirmées (09/2015)
- 1989 : première détection confirmée par Michel Mayor et ses collaborateurs) ; première détection directe en 2005 grâce au VLT
- Avec les exoplanètes candidates, ≈ 5000 candidats + confirmés, croissance rapide de ce nombre
- N_e (nombre moyen de planètes potentiellement propices à la vie par étoile) : grosse incertitude, probablement pas trop faible
- f_l (fraction de ces planètes sur lesquelles la vie apparaît effectivement) : très grosse incertitude
- f_i (fraction de ces planètes sur lesquelles apparaît une vie intelligente) : incertitude encore plus grande
- f_c est la fraction de ces planètes capables et désireuses de communiquer ;
- L est la durée de vie moyenne d'une civilisation, en années : quelques milliers d'années ? (voir ci-après)

L'équation de Drake

- Bonne précision sur les deux premiers termes R^* et f_p
- Valeurs utilisées initialement par Drake :
 - $R^* = 10 \text{ an}^{-1}$ (plutôt estimé à ≈ 50 aujourd'hui)
 - $f_p = 0,5$ (encore inconnu, mais presque certainement de l'ordre de l'unité)
 - $n_e = 2$ (idem)
 - $f_l = 1$; $f_i = f_c = 0,01$: grosses incertitudes
 - $L = 10\,000$ ans (voir ci-après)

L'équation de Drake

- Progression rapide des connaissances sur les exoplanètes
- Environ 2000 exoplanètes confirmées actuellement (1989 : première détection confirmée par Michel Mayor et ses collaborateurs) ; première détection directe en 2005 grâce au VLT



■ Vitesses radiales ■ Transit astronomique ■ *Timing* ■ Astrométrie ■ Imagerie directe

Solutions envisagées au paradoxe de Fermi

- De nombreux scénarios ont été envisagés
- Les extraterrestres sont là, mais ne se révèlent pas (quarantaine ?)
- Ils sont venus (sans doute de multiples fois) dans le passé, mais on en a perdu les traces
- La vie est courante, mais la vie technologique est extrêmement rare (mais nous sommes là...)
- La vie est exceptionnelle (mais nous sommes là...)
- La vie technologique n'est assez courante dans la galaxie, mais instable et autodestructrice
- Fusée Ariane 5 : au décollage, de l'ordre de la puissance de la consommation énergétique mondiale ...

Equilibre/épuisement des ressources

- Temps caractéristique d'épuisement de différents matériaux (cuivre, hélium, terres rares, pétrole, etc.) au rythme actuel : quelques dizaines d'années
- Ratio entre temps de renouvellement des sols et le temps d'épuisement des sols par surexploitation: environ deux ordres de grandeur pour une fraction importante des sols

Croissance au taux de 2 % annuel

- Combien faut-il de temps pour qu'une croissance à 2 % à partir du taux actuel conduise à l'épuisement des ressources:
 - De toute la planète Terre ?
 - De la Galaxie ?
 - De l'Univers observable complet ?

 - Quelle est votre estimation ? Réponse
surprenante: quelques centaines d'années pour la
Terre, et seulement ≈ 5500 ans ($\pm 10\%$) pour tout
l'Univers

Croissance au taux de 2 % annuel

- Croissance de 2% par an : un peu plus de 100 ans (≈ 116 ans) pour augmenter d'un facteur 10 la consommation
- Matière de l'univers observable : de l'ordre de 10^{80} protons (et neutrons)
- Consommation énergétique mondiale : actuellement de l'ordre d'une douzaine de milliards de tonnes-équivalent-pétrole
- Soit l'énergie d'annihilation totale de cinq tonnes de matière, soit environ 3×10^{30} protons

Instabilité du système Vie

- Il y a dix ans, 90 % des chercheurs de toute l'histoire de l'humanité étaient encore en vie
- La vie comme catalyseur qui permet de brûler la matière et les ressources environnantes
- Des fourmis découvrant le principe des allumettes sur un tas de salpêtre...
- Existe-t-il une stratégie permettant de contourner ce diagnostic de destruction presque inéluctable ?

Classification de Kardashev

- Nikolai Kardashev : trois différents niveaux de développement de civilisation extraterrestre
- Niveau 1 : une civilisation consomme l'ensemble de l'énergie de sa planète
- Niveau 2 : elle consomme l'ensemble de l'énergie de son étoile
- Sphère de Dyson (1960) : utiliser une planète de la taille de Jupiter pour la réassembler sous la forme d'une coquille entourant entièrement l'étoile
- Niveau 3 : civilisation qui contrôlerait l'ensemble de l'énergie émise par une galaxie

Classification de Kardashev

- Niveau 3 : civilisation qui contrôlerait l'ensemble de l'énergie émise par une galaxie
- arXiv:1507.05969
S. Jay Olson, Estimates for the number of visible galaxy-spanning civilizations and the cosmological expansion of life
- Ces civilisations devraient être (de loin) les plus visibles (et « sauter » de galaxie en galaxie)

Classification de Kardashev (suite)

- Avec un taux de croissance de 2 % par an, il faudra moins de 500 ans pour que notre civilisation atteigne le niveau un
- Il ne faut que 1500 ans pour atteindre le niveau deux
- 2700 ans seulement pour atteindre le niveau trois
- et enfin 5000 ans seulement pour atteindre le stade ultime et consommer toute l'énergie de l'univers...
- Quelle que soit la technologie utilisée, il est clair que pour survivre longtemps, une civilisation doit faire assez tôt le sacrifice de la croissance énergétique.



SKA-LOW, Murchison, Australia:

Phase 1: 130,000 dipole antennas over 80km (2018 – 2023)

Phase 2: 500,000 dipoles over 250km (2025 – 2033)



SKA-MID, Karoo, South Africa:



Phase 1: 200 dishes spread over 150km (2018 – 2023)

Phase 2: 2500 dishes spread over 3500km (2025 – 2033)



SKA (Square Kilometer Array)



Phase 1: sensibilité attendue : capacité de détection d'un signal de type radar d'aéroport sur les $\approx 10\,000$ étoiles les plus proches

Phase 2: sensibilité attendue : capacité de détection d'un signal de type radar d'aéroport sur les $\approx 100\,000$ étoiles les plus proches

- La détection confirmée d'**une seule civilisation extra-terrestre** constituerait l'un des événements les plus importants de l'humanité
- Progression rapide et détection très probable d'un nombre significatif d'autres exemples de civilisations en une dizaine d'années



Quelques références

- <https://lejournel.cnr.fr/billets/le-paradoxe-de-fermi-et-les-extraterrestres-invisibles>
- <http://rue89.nouvelobs.com/2015/02/28/croissance-a-quelle-distance-est-limites-257868>
- http://fr.wikipedia.org/wiki/Paradoxe_de_Fermi
<https://www.youtube.com/watch?v=MCcdZm2VYul>
- <http://www.denoel.fr/Catalogue/DENOEL/Lunes-d-encre/Le-Paradoxe-de-Fermi>