



FERMI, DRAKE & KARDASHEV

A.Marcowith (LUPM)

Alexandre.Marcowith@umontpellier.fr

Plan: un paradoxe, une equation et une échelle

- Le paradoxe de Fermi: « *where is anybody ?* » (où est quelqu'un ?)
- L'équation de Drake: le nombre de civilisation extraterrestres en capacité de communiquer.
- L'échelle de Kardashev: les niveaux « énergétiques » des civilisations.

Une grande question

Sommes nous seuls dans l'univers ?

1. Si non, où sont les extraterrestres ?
2. Question connexe: La vie existe t'elle en dehors de la Terre ?
3. D'où la quête de planètes extrasolaires (ou non) susceptibles d'abriter cette vie.

Point 3: quelques références (cf ci-dessous)

Point 2: quelques références (cf ci-dessous)

Je vais me concentrer sur le point 1, mais je devrais aborder les points 2 et 3 pour l'équation de Drake.

Quelques lectures sur le sujet.

- Article wikipédia: https://fr.wikipedia.org/wiki/Vie_extraterrestre (plusieurs liens intéressants: exoplanètes, exobiologie, recherche dans le système solaire (Mars, Europe, Encelade, Titan, les comètes et astéroïdes...), la version anglaise est plus complète https://en.wikipedia.org/wiki/Extraterrestrial_life
 - *Equation de Drake* https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quation_de_Drake
 - *Paradoxe de Fermi* https://fr.wikipedia.org/wiki/Paradoxe_de_Fermi
- Article Exobiologie, encyclopédia universalis <https://www.universalis.fr/encyclopedie/exobiologie/> (F.Raulin, président société française d'exobiologie).
- Livres:
 - **Les enfants d'Uranie.** Evry Schatzmann, Seuil (1986).
 - **La recherche de la vie extraterrestre.** Nathalie Cabrol & Edmond Grin (puf), 2000
 - **La vie dans l'univers : Entre mythes et réalités.** André Brack, Fiorella Coliolo (la Martinière), 2009.
 - **Exobiologie - la vie ailleurs dans l'univers ?** André Brack (de vive voix), 2013
 - **La recherche de vie extraterrestre (en 40 pages),** Florence Raulin Cerceau (uppr), 2017.
 - **(pour les enfants) Découvrir la vie extraterrestre.** André Brack, Aurélien Débat, (le pommier) 2007.

quelques vidéos ou podcasts

- <https://www.franceculture.fr/emissions/la-methode-scientifique/extraterrestre-il-est-fermi-dout-douter> (paradoxe de Fermi)
- <https://www.franceculture.fr/sciences/des-etoiles-boucles-dor-pour-chercher-une-vie-extraterrestre> (étoiles boucles d'or)
- <https://podcasts.apple.com/fr/podcast/extr%C3%AAmophiles-la-vie-%C3%A0-toute-%C3%A9preuve/id1134937775?i=1000437991113> (extrêmophiles)
- <https://podcasts.apple.com/fr/podcast/lunes-glac%C3%A9es-sous-la-glace-la-vie/id1134937775?i=1000434519962> (lunes glacées)
- https://www.youtube.com/watch?v=jssWjIISe_M (vie extraterrestre)
- <https://www.youtube.com/watch?v=FtbfS6hmhoE> (vie extraterrestre)
- <https://www.franceculture.fr/emissions/deux-minutes-papillon/la-philosophie-au-risque-de-lintelligence-extraterrestre-de-thibaut> (l'altérité) <=> Thibaut Gress / Paul Mirault – La Philosophie au risque de l'intelligence extraterrestre (Vrin edt)

Du caractère scientifique de la question

- Si la question de la vie est une vraie question scientifique – à l'étude actuellement – la question de civilisations extraterrestres en mesure de communiquer avec nous ne l'est pas uniquement.
- A moins de tomber sur des signaux explicites, cette question sort parfois un peu du cadre de la science pour rentrer dans des considérations métaphysiques.
- La prudence est de mise dans vos lectures.

SETI = Search for Extra-Terrestrial Intelligence (recherche d'intelligence extraterrestre)

- <https://www.seti.org/> : l'institut SETI (mountain view, Californie, EU, silicon valley).
- Fondé en 1984, entre autre par Frank Drake.



Allen Telescope Array (réseau de 42 radio télescopes, Observatoire de hat creek, Californie)

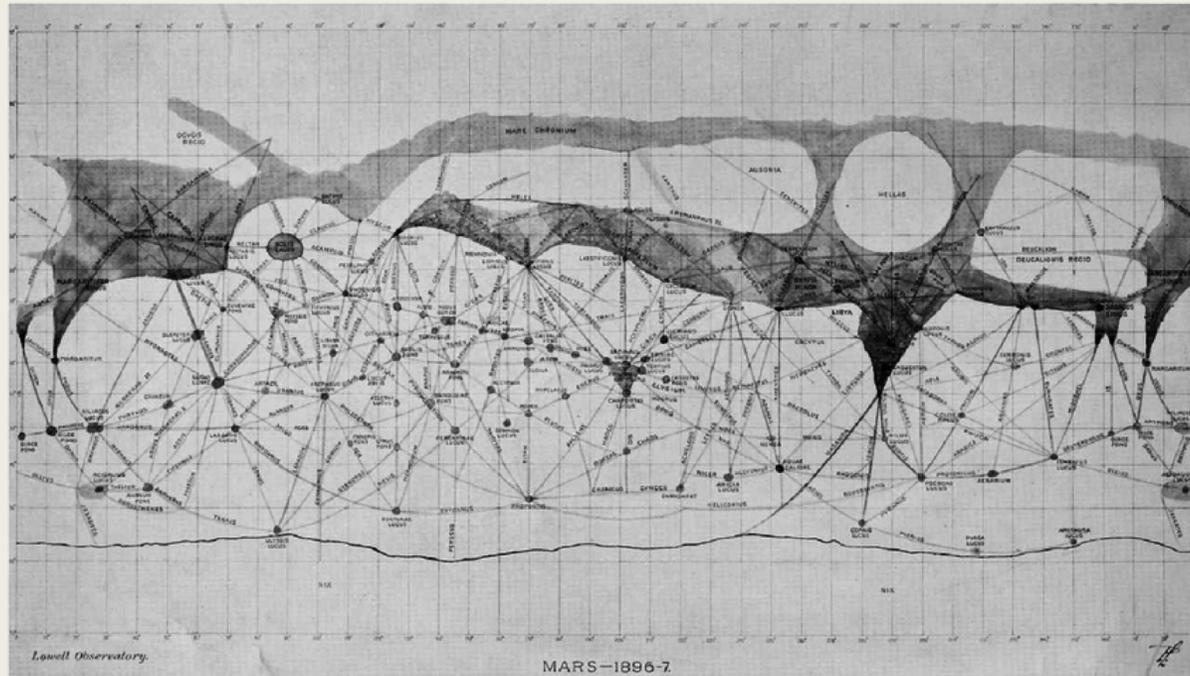
- Large champ de vue.
- Sensible dans le domaine 500 MHz-15 GHz.

Historique (jusqu'au 20 siècle)

- A lire : Cosmic Connection (C. Sagan, 1975)
- Lucrèce (v-94/-54) (de la nature des choses trad. le Livre de poche, Bernard Pautrat 2002).
- Lucien de Samosate (v 120-180) (les histoires vraies, trad. livre de poche G.Lacaze 2003) [1er ouvrage de science fiction]
- Giordano Bruno (1548-1600) (L'infini, l'univers et les mondes 1584, Berg international edt) [1er auteur à postuler la pluralité des mondes]
 - « Il est donc d'innombrables soleils et un nombre infini de terres tournant autour de ces soleils, à l'instar des sept « terres » [la Terre, la Lune, les cinq planètes alors connues : Mercure, Vénus, Mars, Jupiter, Saturne] que nous voyons tourner autour du Soleil qui nous est proche. »
 - « Car il est impossible qu'un être rationnel suffisamment vigilant puisse imaginer que ces mondes innombrables, aussi magnifiques qu'est le nôtre ou encore plus magnifiques, soient dépourvus d'habitants semblables et même supérieurs. »
- Savinien Cyrano de Bergerac (1619-1655) (États et empires de la Lune 1648)
https://fr.wikisource.org/wiki/L%E2%80%99Autre_monde_ou_les_%C3%89tats_et_empires_de_la_Lune
- Bernard le Bouyer de Fontenelle (1657-1757) (entretien sur la pluralités des mondes, 1686)
http://livres.gloubik.info/IMG/pdf/entretien_sur_la_pluralite_des_mondes.pdf
- Emmanuel Swedenborg (1688-1772) (Principia, 1734) [1er auteur à émettre l'hypothèse de la nébuleuse solaire]
- Emmanuel Kant (1724-1804) a approfondi les travaux de Swedenborg. Théorie du Ciel, 1755: existence extraterrestre.
- Aussi C. Huygens (cosmotheoros, 1698), le premier à envisager l'étude de planètes extrasolaires.

Historique 20 ème siècle

- Giovanni Schiaparelli & Percival Lowell : les canaux martiens.



Carte des canaux martiens
(P.Lowell 1897)

- Constantin Tsiolkovski (1857-1935) : initiateur de l'aérospatiale, premier auteur à évoquer la conquête spatiale (*La fusée dans l'espace cosmique*, 1903) et a évoquer le paradoxe de Fermi ...

Enrico Fermi



(1901-1954)

- Physicien italien puis naturalisé américain

- *Modèle de matière quantique pour les particules de spin $\frac{1}{2}$ = les fermions.*
- *Travaux sur la radioactivité beta et existence du neutrino (prix Nobel de physique 1938).*
- *Travail sur la première pile atomique puis au projet Manhattan de la première bombe atomique.*
- *Elabore le premier modèle du rayonnement cosmique.*
- *En 1950 il « élabore » ce que l'on appellera par la suite le « paradoxe de Fermi »*

Le paradoxe de Fermi

- Il peut se formuler ainsi: « *where is anybody ?* »

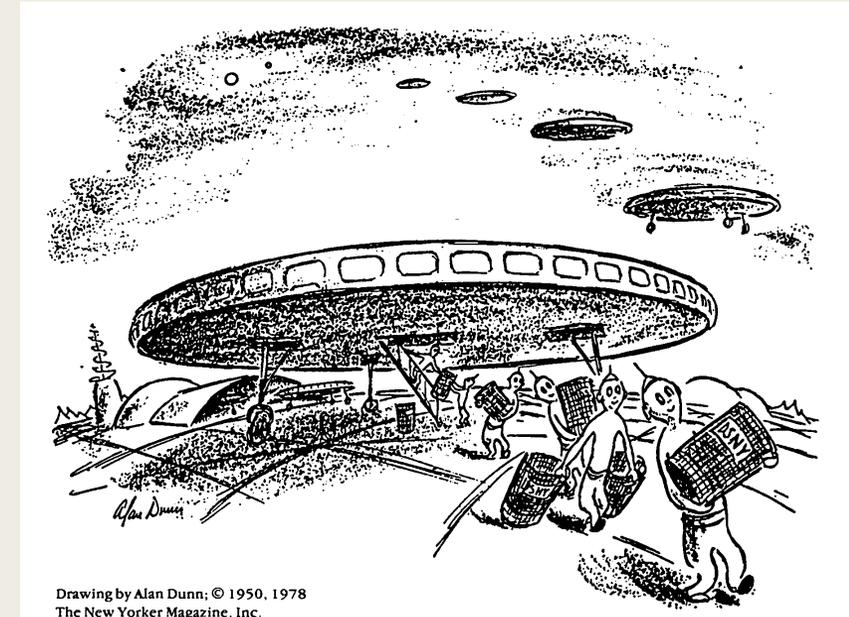
« pourquoi, alors que le Soleil est une étoile relativement jeune dans notre Galaxie, aucune civilisation avancée qui aurait dû apparaître dans un système stellaire plus âgé n'a laissé aucune trace visible de son existence »

- Petite anecdote:

A vrai dire ce questionnement est issu un peu d'une conversation de « comptoir » entre Fermi, et ses collègues à la Fuller Lodge, cafétéria du laboratoire où travaillait Fermi à Los Alamos en commentant un dessin de A. Dunn publié dans le New York magazine.

L'enquête de Eric M. Jones sur cette discussion se trouve ici (en anglais)

<https://permalink.lanl.gov/object/tr?what=info:lanl-repo/lareport/LA-10311-MS>



Drawing by Alan Dunn: © 1950, 1978
The New Yorker Magazine, Inc.

dessin de Alan Dunn donnant une explication à la disparition des poubelles publiques dans les rues de New York

Les suites du paradoxe

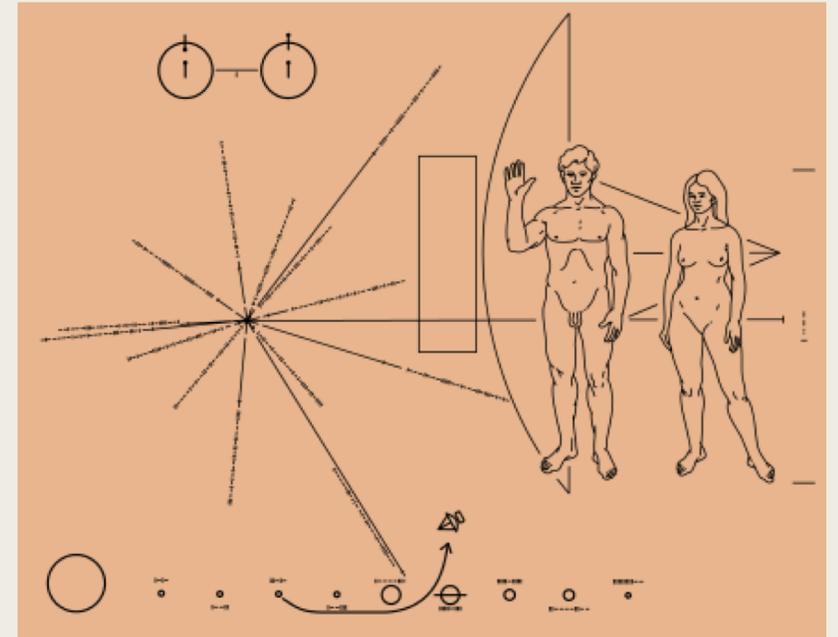
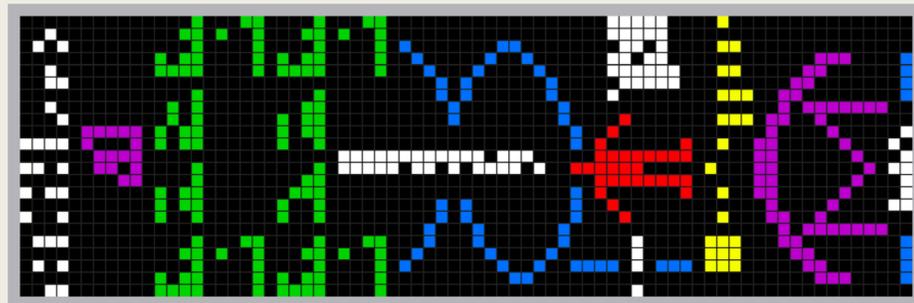
- Cette question redécouverte et mis en exergue par d'autres (eg C. Sagan) et surtout par M.H. Hart (<http://articles.adsabs.harvard.edu/pdf/1975QJRAS..16..128H>, en anglais).
- S'en suit une montagne de discussions/commentaires... (cf l'article de wikipédia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Paradoxe_de_Fermi#Hart,_1975).
- Les 4 explications avancées par Hart au paradoxe de la non présence des ET sur Terre.
 - *les extraterrestres n'existent pas.*
 - *explication temporelle: ils existent, ont les moyens technologiques suffisants mais n'ont pas eu le temps d'arriver.*
 - *explication physique: ils sont limités technologiquement ou physiquement.*
 - *ils nous ont déjà rendu visite mais ne sont pas présents aujourd'hui (ou bien ils nous ont influencé, cf début de 2001 odyssée de l'espace de S. Kubrik).*
- Petite reformulation: serions nous en mesure aujourd'hui de communiquer avec une civilisation extraterrestre ? ceci est l'idée de base de l'équation de Drake.

Frank Drake



(1930-

- Astrophysicien américain, fondateur du projet SETI.
- Concepteur de l'équation de Drake (1961).
- Avec C. Sagan il conçoit la plaque embarquée à bord des sondes Pioneer X et XI (1972, 1973) et le disque embarqué dans les sondes Voyager (1976, 1977).
- Conçoit le message d'Arecibo (1974), signal radio envoyé en direction de l'amas globulaire d'Hercule.



L'équation de Drake

$$N = R_* \times F_p \times n_e \times F_v \times F_l \times F_c \times T$$

N = le nombre de civilisations extraterrestres dans notre galaxie qui seraient en mesure de communiquer avec nous. $N > 1$.

- R_* = Taux de formation moyen d'étoiles dans notre galaxie (Nombre/an)
- F_p = Fraction ($0 < F_p < 1$) de ces étoiles capables de former des planètes
- n_e = Nombre moyen de planètes capables d'abriter la vie (parmi les étoiles formant des planètes)
- F_v = Fraction de ces planètes où la vie effectivement se développe
- F_l = Fraction de ces planètes abritant une vie intelligente (une civilisation)
- F_c = Fraction de ces planètes pour laquelle la dite civilisation est à même de communiquer
- T = temps d'existence moyen d'une telle civilisation (en années)

F. Drake (1961), Green Bank conference on Intelligent Extraterrestrial Life.

une de ses conférences (anglais) <https://www.youtube.com/watch?v=mucWk4zjSBU>

Evaluations des termes de l'équation

- Trois groupes de termes:

- le taux astrophysique $R_{\text{astro}} = R_* \times F_P \times n_e$ c'est le mieux connu, il découle directement du fort développement de la recherche des planètes extrasolaires (tout du moins pour les deux premiers termes).
- le terme techno-biologique $F_{\text{biotec}} = F_V \times F_I \times F_C$ termes les effets chimiques/biologiques/sociologiques menant au développement technologique d'une civilisation. Terme incertain.
- T la durée de vie d'une civilisation. Terme pour le moins incertain...

Termes astrophysiques

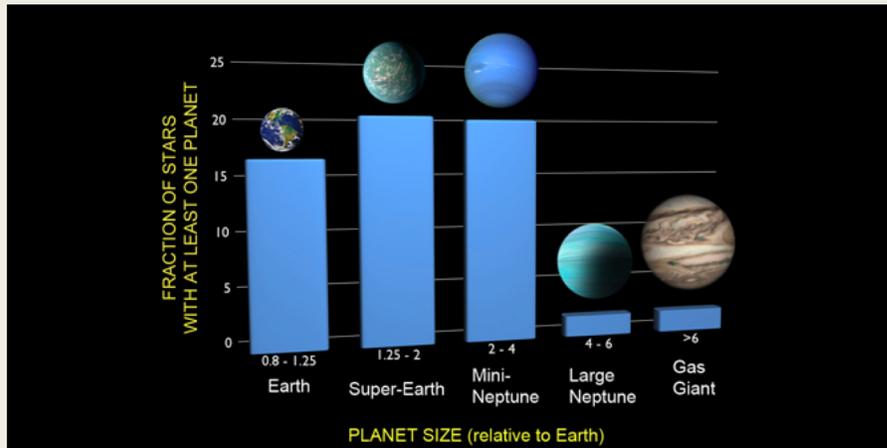
- De mieux en mieux connus : $R_{\text{astro}} \sim 0.09-0.6/\text{an}$

Le taux de formation d'étoile R_{*} : Le télescope Infra-rouge Spitzer trouve $[0.68-1.45]$ masse solaire/an (Robitaille & Whitney 2009). En moyenne 1 soleil/an. Ce qui donne $R_{*}=2-3/\text{an}$

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Spitzer_\(t%C3%A9lescope_spatial\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Spitzer_(t%C3%A9lescope_spatial))

Le télescope Spitzer(2003-2019)

https://www.nasa.gov/mission_pages/spitzer/main/index.html

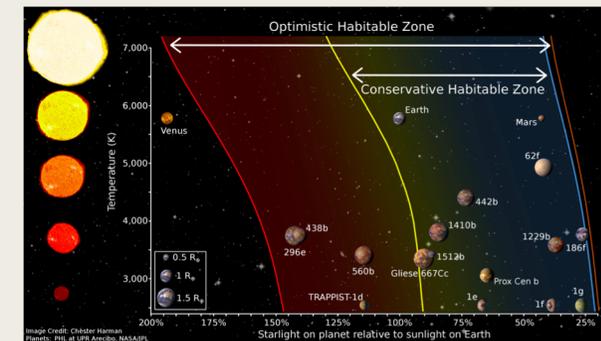


Fraction des étoiles capables de former des planètes F_p : les données du télescope Kepler (2009-2018) donnent 0.5 à 0.7.

https://www.nasa.gov/mission_pages/kepler/main/index.html

https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/docs/counts_detail.html

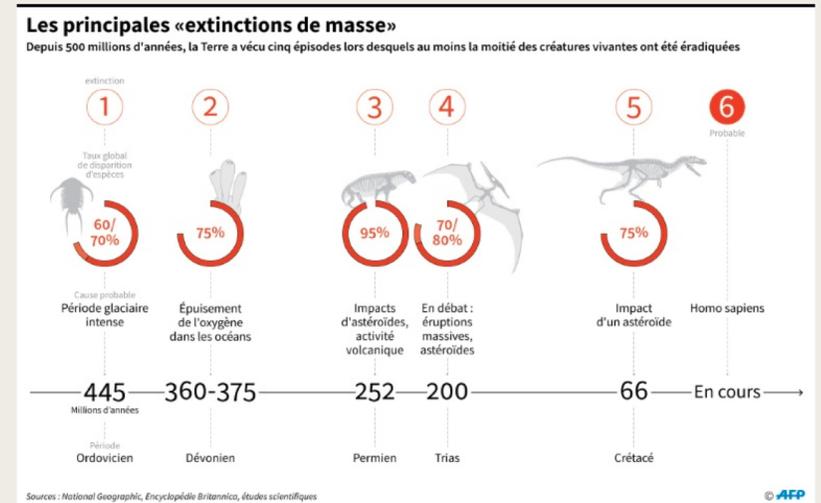
Nombre moyen de planètes capables d'abriter la vie n_e : ce terme est le moins bien connu, environ $0.15^{+0.13}_{-0.06}$ (nombre moyen de planète dans la zone habitable), Dressing & Charbonneau (2013).



Termes techno-biologiques

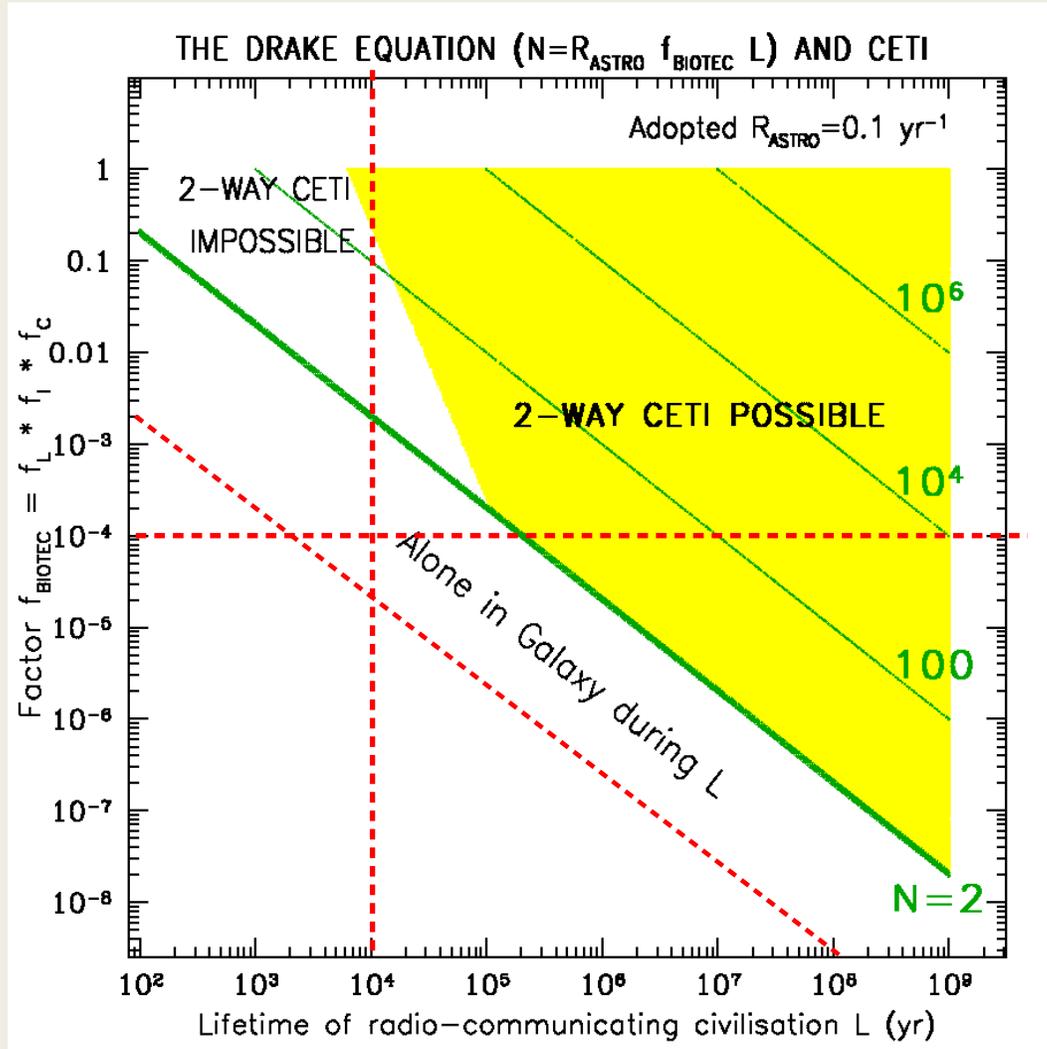
- Mal connus voire complètement inconnus.
- Estimation de Drake (1961) : $F_{\text{biotech}} = 0.0001$.
- F_V = Fraction de ces planètes où la vie effectivement se développe : 1
- F_I = Fraction de ces planètes abritant une vie intelligente (une civilisation) : 0.01
- F_C = Fraction de ces planètes pour laquelle la dite civilisation est à même de communiquer : 0.01

La durée de vie d'une civilisation: le terme T



- Mal connu. On pourrait dire au moins 80 ans (durée de vie de notre civilisation émettrice d'ondes radio). Drake l'estima à 10 000 ans.
- Facteurs limitants (la terre a connu déjà 5 extinctions de masse de la vie ... une sixième est en cours).
 - astrophysique: explosion de supernova (1 SN à moins de 100 a.l. /100 millions d'années), ou pire des sursauts gamma (eg étoile WR 104, située à 6000 a.l.), Collision de météorites/comètes.
 - tellurique: Activité volcanique, glaciation, variation de l'intensité du champ magnétique.
 - biologique: bactérie, virus, guerre.
- Plutôt que de l'estimer on peut le prendre pour paramètre ... mais T semble ne pas excéder quelques 100 millions d'années, d'autres les estiment à quelques centaines d'années (échelle de temps de civilisation humaines)...

Utilisation de l'Eq. de Drake



fort impact de la durée de vie T !

La zone jaune évalue l'espace de paramètres pour lequel une communication aller/retour par signaux se déplaçant à la vitesse de la lumière est possible pendant un temps T .

le taux R_{astro} est 0.1/an si il est plus grand la courbe verte se déplace vers le bas.

Un exemple, les estimations de Drake sont en rouge

$R_{astro}=10/\text{an}$

$F_{biotech}=0.0001$

$T=10000 \text{ ans}$

Drake trouve 10 civilisations

N. Prantzos International Journal of Astrobiology (2013), Volume 12, Issue 3, pp. 246-253

Nikolaï Kardashev



(1932-2019)

- Radioastronome russe. Membre de l'académie des sciences de Russie.
- Initiateur des observations radio de type SETI en Russie.
- Découvre en 1963 le premier signal radio en provenance de quasars (galaxies dont le centre est un fort émetteur de radiation, lié à l'activité d'un trou noir géant).
- Propose l'échelle des civilisations extraterrestres en 1964.

L'échelle des civilisations de Kardashev

- Cette échelle comporte 3 niveaux. Elle classe les différentes civilisations suivant leur niveau de consommation d'énergie.

(pour référence la puissance mondiale consommée $W_M = 2 \cdot 10^{12}$ Watt, 20 000 milliards de Watt)

- Civilisation de type 1: utilise l'ensemble de la puissance captable sur sa planète soit $W = 10^{16}$ Watt soit 5000 W_M .
- Civilisation de type 2: utilise l'ensemble de la puissance émise par l'étoile autour de laquelle gravite sa planète soit $W = 10^{26}$ Watt soit 50 000 000 000 000 W_M .
- Civilisation de type 3 utilise l'ensemble de la puissance émise par sa galaxie hôte soit $W = 10^{36}$ Watt soit 500 000 000 000 000 000 000 W_M .

➤ L'humanité n'a donc pas atteint encore le stade 1 (environ 0.7 en échelle logarithmique).

... pour accélérer 10 000 tonnes (25 fois environ le poids de la station spatiale internationale) à une vitesse de 0.1 fois la vitesse de la lumière en un an il faut fournir environ $1.4 \cdot 10^{14}$ Watt ... il y a encore du chemin pour des voyages spatiaux.

Une civilisation de type 1 serait en mesure de faire des voyages interstellaires avec quelques vaisseaux spatiaux ...

Tout en sachant que passer de 0.1 à 0.5 fois la vitesse de la lumière multiplie la puissance à fournir par 100.

L'énergie et la relativité (et les dangers du parcours) sont sans doute des facteurs limitants entrant en compte dans le paradoxe de Fermi.

Des questionnements pour finir

- De deux choses l'une
 - *Nous sommes seuls: la vie « intelligente » est un miracle qu'il faut préserver (ou pas ?)*
 - *Nous ne sommes pas seuls: la vie « intelligente » est un miracle qu'il faut partager (ou pas ?)*
- Les deux alternatives donnent le vertige et peuvent être effrayantes.

Une note personnelle:

- je prends deux paris
 1. *la vie n'est pas unique (voir le foisonnement de vie dès qu'elle peut apparaître, il y a 3.7 milliards d'années, soit moins d'un milliard d'années après la formation de la Terre).*
 2. *nous ne sommes pas seuls (mais le nombre de civilisations dans la galaxie n'est pas très élevé).*

L'histoire des sciences est un constant décentrage de l'être humain par rapport à son environnement. Pourquoi d'un seul coup devrions nous être si spéciaux ?

Des questionnements pour finir

- De deux choses l'une
 - *Nous sommes seuls: la vie « intelligente » est un miracle qu'il faut préserver (ou pas ?)*
 - *Nous ne sommes pas seuls: la vie « intelligente » est un miracle qu'il faut partager (ou pas ?)*
- Les deux alternatives donnent le vertige et peuvent être effrayantes.

Une note personnelle:

- je prends deux paris
 1. *la vie n'est pas unique (voir le foisonnement de vie dès qu'elle peut apparaître, il y a 3.7 milliards d'années, soit moins d'un milliard d'années après la formation de la Terre).*
 2. *nous ne sommes pas seuls (mais le nombre de civilisations dans la galaxie n'est pas très élevé).*

L'histoire des sciences est un constant décentrage de l'être humain par rapport à son environnement. Pourquoi d'un seul coup devrions nous être si spéciaux ?

- Bon ... en général je n'ai pas une énorme réussite quand je fais des paris, à vous de voir 😊

Merci de votre attention