

Des faits !

L'Univers devait-il produire la vie? Le principe anthropique

• La place de l'homme dans l'Univers: le fantôme de Copernic!

La cosmologie moderne a rapetissé l'homme à la fois dans l'espace et dans le temps. D'abord délogée par Copernic (1543) du centre d'un Univers fixe, notre Terre s'est vu progressivement reléguée au rang de simple planète tournant autour du Soleil, à la périphérie d'une galaxie de banlieue - la Voie lactée, dans un Univers en expansion (Hubble, 1929) de 13.7 année-lumière de rayon observable. Puisque l'espace et le temps forme un continuum (cf. poster n°1), l'homme s'est également rétréci dans le temps. Si on réduit la durée de l'évolution cosmique à une année fictive, le Big Bang ayant eu lieu le 1^{er} janvier à 0h00, la formation de la Voie Lactée date du 1^{er} avril, et celle du système solaire, du 9 septembre. Puis débute la lente évolution de la vie, avec en fin septembre la constitution des 1^{es} cellules vivantes, le 9 octobre des plus vieilles fossiles (bactéries et algues bleues), le 1^{er} novembre l'invention de la reproduction sexuée (micro-organisme), puis en décembre l'apparition des premiers poissons (19/12), insectes (21/12), arbres (23/12), oiseaux (27/12). Après 4 jours, les fameux dinosaures quittent la scène le 28, laissant la place aux mammifères, et finalement à l'homme dans les dernières heures du dernier jour (22h30 le 31/12). L'*homo sapiens* ne survient qu'à la toute dernière minute, la civilisation égyptienne se développe dès les 10 dernières secondes et le Christ s'incarne 5 secondes avant la fin de l'année.

Quelle attitude adopter devant un changement si radical de perspective? Faut-il tel Blaise Pascal s'effrayer du « silence éternel de ces espaces infinis ("Pensées", 1670) », voir même désespérer à la suite de Jacques Monod « l'homme [ayant] émergé par hasard dans un Univers qui lui est complètement indifférent ("Le hasard et la nécessité", 1970) »? Ou peut-on s'émerveiller comme Trinh Xuan Thuan que « l'Univers semble réglé de façon extrêmement précise pour que la vie et l'intelligence, telles que nous les connaissons, apparaissent ("La mélodie secrète", 1988) »?

Notre

existence

• Un Univers si bien réglé

La Relativité Générale a permis d'élaborer des scénarios de l'évolution cosmique plausibles - les théories du Big Bang - et suffisamment avancés pour "repasser le film à l'envers", jusqu'aux premiers instants (10^{-34} s). Grâce aux superordinateurs, il est désormais possible de simuler diverses évolutions en jouant sur i/ les conditions initiales (quadrivecteur énergie-impulsion (cf. poster n°1), taux d'inflation, etc...) et ii/ une quinzaine de constantes physiques fondamentales ($G, h, c, k_B, e, m_e, m_p, \alpha$, etc...). Or la quasi-totalité des Univers ainsi obtenus manifestent, soit un chaos mortel, soit une simplicité où rien ne se passe. Autrement dit, alors que « notre propre Univers se tient délicieusement en équilibre entre ces alternatives déplaisantes, offrant un mélange actif de liberté et de discipline, une sorte de créativité restreinte [qui] encourage la matière et l'énergie à se développer le long du chemin de l'évolution (cf. [1] P.Davies, p.47) », la majorité des Univers simulés sont impropres à l'apparition et au développement de la vie telle que nous la connaissons. La viabilité de notre Univers est donc extrêmement sensible aux variations des paramètres libres de nos modèles actuels et leur impose un réglage très précis. Voici quelques "heureuses" coïncidences qui jalonnent son évolution cosmique (cf. [0] p. 155 ss; [2]; [3]):

- le réglage de la densité initiale de l'Univers p. r. à sa vitesse d'expansion est ajusté au $1/10^{12}$, sinon soit l'Univers s'effondre rapidement, soit les galaxies et les étoiles ne se forment pas;
- la différence entre la charge électrique de l'électron et du proton est inférieure à 10^{-18} C, sinon le déséquilibre électrique qui en résulte, fait "exploser" toute structure matérielle;
- le réglage de l'intensité de l'interaction nucléaire forte est ajusté à $\pm 4\%$ ($\alpha_s = 15$), sinon la nucléosynthèse du carbone ^{12}C (brique de la vie) est réduite d'un facteur compris entre 30 et 1000;
- le rapport entre l'intensité des interactions gravitationnelle et nucléaire forte vaut $10^{40\pm 1}$, sinon l'Univers est soit trop petit, chaud et évolue rapidement, soit trop dilué, froid et stagne;
- la masse du neutron est juste un peu plus grande que celle du proton ($1/1000^e$), sinon tous nucléons se transforment en neutrons à courte durée de vie (15 min, contre 10^{32} ans pour le proton);
- le nombre de dimensions spatiales est supérieur à deux et inférieur à quatre (trois), sinon aucune intersection ou croisement n'est possible (2-dim), ou aucune orbite n'est stable (≥ 4 -dim);
- le niveau d'énergie du carbone est supérieur, tant à la somme $^4\text{He} + ^8\text{Be}$, tant à celui de l'oxygène (contraintes biotiques), sinon le ^{12}C n'apparaît jamais ou se transforme complètement en ^{16}O .

Emergence d'un paradigme qui « réenchante » le monde.

Leur interprétation ?

• Coïncidences "heureuses" ou principe anthropique?

Pour certains intellectuels, cet ensemble de coïncidences ne présente aucune signification. Ce n'est qu'un reflex anthropocentrique (du grec *anthropos* signifiant homme), un reflet narcissique: « N'y a-t-il pas quelque chose d'un peu grotesque dans le spectacle d'être humains tenant un miroir devant eux, et trouvant ce qu'ils y voient assez parfait pour démontrer qu'un Dessein Cosmique y tendait dès l'origine? ("Science et religion", B. Russel, 1935) »

Pour d'autres, l'existence d'une série de réglages précis, a priori indépendants les uns des autres, traduit l'existence d'un principe anthropique, dont il existe une variété de formulations (cf. [0] p.177-178). A l'origine (1974), B. Carter en a formulé deux versions. Le principe anthropique dit "faible" ressemble à une tautologie: « Ce que nous pouvons nous attendre à observer doit être compatible avec les conditions nécessaires à notre présence en tant qu'observateurs. » Le principe anthropique dit "fort" exprime une visée finaliste: « L'Univers (et donc les paramètres fondamentaux dont celui-ci dépend) doit être tel qu'il permette la naissance d'observateurs en son sein, à un certain stade de son développement. »

Depuis trente ans, de nombreuses critiques ont été formulées à l'encontre du principe anthropique. Principe qualifié de stérile, il a néanmoins permis une découverte importante (cf. complément n°6b). Pour éviter toute compromission avec une question métaphysique (cf. poster n°0), certains adoptent des alternatives non-réfutables (tels les *multivers*), qui tombent à leur tour sous le couperet du "rasoir d'Occam" ou principe de parcimonie. D'autres s'interrogent: « Si l'Univers est prédisposé à l'émergence de sujets conscients, ils devraient déjà nous avoir contacté. Où sont-ils donc? ». Cette question est au coeur du fameux "paradoxe de Fermi". Aujourd'hui encore, la communauté scientifique et intellectuelle est divisée sur toutes ces questions.

a-t-elle

un SENS?

• En guise de conclusion provisoire

Le constat d'un Univers si bien réglé nous conduit à trois alternatives.

1/ **Ce réglage est complètement dû au hasard.** Pour expliquer son existence, il faut postuler une infinité d'univers complètement déconnectés les uns des autres et inaccessibles à l'observation - *univers parallèles* de Everett (cf. complément n°2d), *multivers* de Linde - où toutes les combinaisons possibles des paramètres libres sont effectives. Nous sommes par hasard dans le seul qui possède la bonne combinaison, tous les autres étant stériles.

2/ Il n'y a qu'un seul Univers. Alors selon Trinh Xuan Thuan « [s'il] existe un réglage si précis, il faut postuler l'existence d'un **Principe Créateur à l'origine de ce réglage.** (cf. [4] p.157) »

3/ Dans l'état actuel de nos connaissances, **ce réglage est (encore) un mystère.** Alors selon Jean Bricmont (cf. [4]) mieux vaut s'abstenir: « peut être que demain, il existera une théorie qui nous expliquera le pourquoi de ces coïncidences. » Ce que nous apporte la science de précieuse, « c'est de ne pas donner des fausses réponses ou des non-réponses. »

La science ne peut pas choisir entre ces trois alternatives, « c'est à chacun de faire son pari pascalien (cf. [4] p.157). ». Ainsi selon Jean Staune « la science ne démontre nullement la nécessité d'un principe créateur, d'un Dieu, d'un Grand Architecte (appelez-le comme vous le voulez!). Mais elle peut amener à considérer la question de son existence [en recourant] à des réflexions fondées sur nos connaissances scientifiques. (cf. [0] p.167) »

• Pour aller plus loin

cf. compléments

- [1] Collectif sous la direct. de J. Staune, "Science et quête de sens", Presses de la Renaissance, 2005.
- [2] J. Barrow & F. Tipler, "The anthropic cosmological principle", Oxford University Press, 1986.
- [3] J. Demaret & D. Lambert, "Le principe anthropique", Armand Colin, 1994.
- [4] Collectif sous la direct. de J. Staune, "L'homme face à la science", Critérior, 1992.

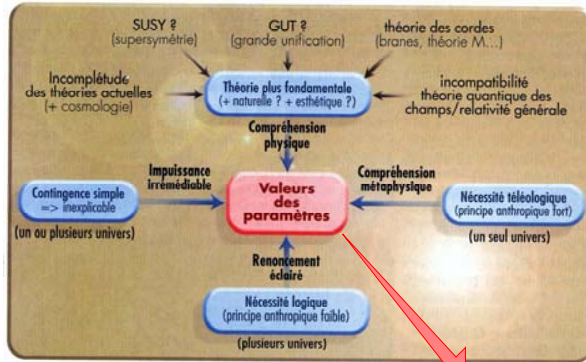
Groupe de branche de PHYSIQUE & PHILO du LCC
en collaboration avec le prof. Jean Staune

N°6

A suivre...

Complément 6a

26 paramètres libres standards - 4 voies d'explication possibles



[E. Parizot, "Une physique à 26 paramètres libres", Sciences et Avenir, hors-série n°141, déc. 04/jan. 05.]

Les paramètres libres du modèle standard sont au nombre de 26 (cf. tableau ci-dessous). Bien que la forme des interactions entre particules soit entièrement déterminée par les symétries du modèle, de nombreux aspects quantitatifs apparaissent arbitraires et ne peuvent être connus que par l'expérience.

Différentes voies sont possibles pour tenter d'expliquer la valeur des paramètres libres du modèle standard. La première, celle de la recherche d'une **théorie plus fondamentale**, est empruntée par plusieurs candidats: la supersymétrie, la théorie de grande unification, les théories des cordes. La deuxième fait appel à une **nécessité téléologique** en s'appuyant sur un principe anthropique fort. La troisième ne vise à mettre en évidence qu'une **nécessité logique** en se contentant d'une acceptation faible du principe anthropique. Enfin, la dernière voie s'en remet à une **inexplicable contingence**.

Masses	leptons : $e, \nu_e, \mu, \nu_\mu, \tau, \nu_\tau$ quarks : d, u, s, c, b, t	12
Brisure de symétrie	masse du H ⁰ (boson de Higgs) $\langle \Phi^2 \rangle_0$ (valeur du champ dans le vide)	2
Constantes de couplage	U(1) \rightarrow g SU(2) \rightarrow g' SU(3) \rightarrow g''	3
Mélange des saveurs	quarks : 3 angles + 1 phase neutrinos : 3 angles + 1 phase	8
Constante QCD	Λ_{QCD} (chromo-dynamique quantique)	1
Total :		26

Complément 6b

Contraintes biotiques sur la physique nucléaire

Pour engendrer la vie telle que nous la connaissons, il faut du carbone (C). Il se forme dans les étoiles. La nucléosynthèse produit d'abord du béryllium (Be) à partir de deux noyaux d'hélium (He) selon la réaction suivante: (${}^4\text{He} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^8\text{Be}$). Le noyau de béryllium a une demi-vie d'un millionième de seconde, soit dix mille fois plus grande que le temps moyen requis pour que deux noyaux d'hélium se rencontrent et interagissent pour lui donner naissance. Le béryllium a donc des chances de rencontrer un noyau d'hélium isolé pour former un noyau de carbone (${}^4\text{He} + {}^8\text{Be} \rightarrow {}^{12}\text{C}$). Cette réaction se passe facilement car elle est « résonante ». L'énergie de (${}^4\text{He} + {}^8\text{Be}$) vaut 7.3667 MeV (MeV \equiv megaélectrons-volts) soit un peu moins que le niveau d'énergie spécifique du carbone ${}^{12}\text{C}$: 7.656 MeV. Lorsque l'énergie thermique présente dans l'étoile se rajoute à celle de l'ensemble (${}^4\text{He} + {}^8\text{Be}$), elle favorise naturellement la production de carbone. Mais celui-ci pourrait être transformé assez vite en oxygène (O) par la réaction: (${}^4\text{He} + {}^{12}\text{C} \rightarrow {}^{16}\text{O}$). Il n'y aurait plus assez de carbone pour faire les longues chaînes moléculaires essentielles à la biochimie.

Cependant, cela ne se passe pas parce que le niveau d'énergie de (${}^4\text{He} + {}^{12}\text{C}$), soit 7.1616 MeV, se situe au-dessus de celui de ${}^{16}\text{O}$, qui vaut 7.1187 MeV. L'énergie thermique de l'étoile qui s'ajoute à celle de (${}^4\text{He} + {}^{12}\text{C}$) tend donc à défavoriser cette réaction productrice d'oxygène et destructrice du carbone.

Si l'on modifiait, même très peu, les intensités de l'interaction nucléaire forte (responsable de la cohésion de noyaux) et de l'interaction électromagnétique, on risquerait de faire décaler la valeur du niveau d'énergie spécifique du carbone ${}^{12}\text{C}$ et de perdre les conditions que nous venons de décrire, essentielles pour mener à la chimie biologique. L'astrophysicien Fred Hoyle prédit l'existence de ce niveau précis d'énergie et son résultat est l'une des rares prédictions effectives avérées sur la base d'une contrainte *anthropique*.

[D. Lambert, "Dans le creuset des étoiles", Sciences et Avenir, hors-série n°151, juillet/août 2007, p. 62]

Complément 6c

Le principe anthropique: diverses formulations (cf. [0] p. 177ss)

Type de principe...	Formulation simplifiée	Exemple de défenseur
anthropique faible	Du fait que nous existons, nous pouvons déduire certaines des caractéristiques de l'Univers.	Brandon CARTER
de complexité	Les lois de l'Univers conspireront pour que la matière se complexifie de plus en plus.	Hubert REEVES
de contingence	Il existe une infinité d'univers parallèles, nous sommes par hasard dans le seul qui ait les « bonnes » constantes.	Martin REES
anthropique fort	L'Univers attendait sans doute notre venue.	Freeman DYSON
de conscience	L'émergence d'êtres conscients, quels qu'ils soient, est inscrite dans les lois de l'Univers.	Trinh XUAN THUAN
anthropique superfort	L'Univers n'est pas seulement préadapté à l'existence d'êtres intelligents comme nous mais également à l'existence de civilisations plus évoluées que nous.	Jean STAUNE
anthropique ultime	Une fois que la vie intelligente est apparue, les lois physiques lui permettent de subsister à jamais.	Frank TIPLER
thanatopropique	La complexité n'est pas viable, l'autodestruction des civilisations avancées est programmée.	Jean-Pierre PETIT
vraiment anthropique	La Terre est le meilleur endroit pour l'émergence d'une conscience capable d'appréhender l'Univers.	Guillermo GONZALEZ

Nous ne disposons pas d'un test nous obligeant à en choisir un; vous pouvez donc choisir celui qui vous convient. Néanmoins tous ces développements autour du principe anthropique ont une grande importance. Ils ont réintroduit la question (et non la réponse qui reste personnelle) d'un Créateur au cœur même de la démarche scientifique. [...] Ils peuvent parfois amener à élaborer des hypothèses testables à propos de la nature de l'Univers, ce qui les amène à se situer à l'intérieur de la science et non pas seulement de la philosophie des sciences. [...] Ils inversent les rapports entre matérialistes et spiritualistes. À cause d'eux, ce sont les matérialistes qui sont menacés par le tranchant du « rasoir d'Occam ».

Complément 6d

Le paradoxe de Fermi: mais où sont-ils?

Enrico Fermi, prix Nobel de physique, [qui] réalisa le premier réacteur nucléaire [...], a élaboré un paradoxe qui s'énonce ainsi: « **Si les extraterrestres existaient, ils devraient déjà être ici.** ».

Sous des dehors anodins, l'idée est très profonde. Nous avons vu que la vie ne pouvait se développer que sur des planètes situées autour d'étoiles de deuxième génération. Mais de telles planètes ont pu apparaître dans notre galaxie des milliards d'années avant la nôtre. Donc nous supposons que, ailleurs dans la galaxie, la vie a pu apparaître plusieurs milliards d'années avant qu'elle n'apparaisse sur terre. Un certain nombre de spécialistes des sciences de la vie estime [...] que l'évolution n'est pas un phénomène uniquement contingent, qu'elle est « canalisée » vers des formes supérieures de complexité. Si c'est le cas, des êtres intelligents ont dû exister des milliards d'années avant nous. Or, dans un milliard d'années (si on est pessimiste) voire dans deux cents millions d'années (si on est optimiste) nous - si nous existons encore - serons présents partout dans la galaxie (cf. complément 6e).

Comment est-ce possible? La première étape est de bâtir une « machine de Von Neumann ». Une telle machine est une machine capable de se répliquer elle-même en plusieurs exemplaires, sans aucune aide extérieure, grâce aux matériaux bruts que l'on peut trouver dans les astéroïdes ou sur les planètes telluriques (carbone, fer, etc.). Aujourd'hui, on ne sait pas bâtir une telle machine mais il paraît probable qu'on y arrive bientôt. J. Barrow et F. Tipler estiment que dans mille ans, une telle machine coûtera moins cher qu'une voiture aujourd'hui. Il suffit donc de lancer à une vitesse de 10 % de la vitesse de la lumière (ce qui n'est pas utopique) quelques machines de Von Neumann vers les étoiles les plus proches pour que, en cent ou deux cents millions d'années, sans que nous ayons rien d'autre à faire, toute la galaxie soit colonisée par nos machines [...]. Mais alors... il y a des millions d'années au moins que, suivant le même genre de parcours, les extraterrestres devraient être dans notre système solaire.

De nombreuses réponses au paradoxe de Fermi sont envisageables:

- La vie est un phénomène plus rare que prévu, nous sommes la première planète où il ait eu lieu.
- L'évolution est un phénomène totalement aléatoire. Aucune autre espèce intelligente n'est apparue.
- Aucune autre espèce intelligente n'a eu de goût pour la technologie et l'exploration de l'espace.
- « Ils » sont là, mais pour eux, nous sommes comme des animaux dans un zoo. Partout, aux limites du Système solaire, il y a des panneaux « Ne dérangez pas les animaux », « Ne les nourrissez pas ».
- [...] La complexité n'est pas viable, toutes les civilisations technologiquement évoluées s'autodétruisent bien avant d'avoir pu partir à la conquête de la galaxie.

[cf. [0] p176-177]

- **Genèse d'une formule**

En 1961 l'astronome Frank Drake - initiateur du projet OZMA de recherches de signaux radio provenant de mondes lointains - propose une formule pour évaluer le nombre de civilisations extraterrestres intelligentes capables de communiquer:

$$N = R_* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_i \cdot f_l \cdot f_c \cdot L$$

Soit **N** le nombre de civilisations extraterrestres dans la Galaxie, émettant des signaux détectables à l'aide de nos radiotélescopes; **R***, le taux de formation d'étoiles annuel dans notre Galaxie; **f_p** la fraction d'étoiles ayant un système planétaire; **n_e**, le nombre de planètes et de satellites par système possédant les conditions favorables à la vie; **f_i**, la fraction de ces planètes où la vie s'est effectivement développée; **f_l**, la fraction de planètes où l'évolution a abouti à une forme de vie intelligente; **f_c**, la fraction de ces planètes où une vie intelligente est capable de communication dans l'espace et intéressée de le faire; **L**, la durée de vie moyenne de ces civilisations évoluées.

- **Quelles valeurs choisir?**

La formule permet le découpage d'une question fondamentale en une suite de facteurs que les progrès scientifiques permettent d'affiner, et de s'approcher progressivement d'un résultat plausible. [...] N peut varier considérablement selon les hypothèses qui conditionnent les valeurs données à chaque terme. Mais la formule offre l'intérêt d'ouvrir la voie des conjectures.

- **R*** = 7 (bien étayé: par année, 3 à 5 masse solaire de gaz se transforme en étoile plus petite que le Soleil)
- **f_p** = 0.1 (estimation pessimiste: au 30 avril 2007, on compte 230 systèmes planétaires, dont 24 sont multiples)
- **n_e** = 1 (raisonnable: 10% des exoplanètes sont dans la zone d'habitabilité, 80 % des astres sont de type solaire)
- **f_i** = 0.5 (conjecture: par ex. pour le système solaire, 2 réussites [Terre, Mars?] sur 4 sites possibles [Europe, Titan])
- **f_l** = 0.5 (conjecture optimiste: par ex. pour le système solaire, 1 réussite [Terre] sur 2 sites possibles [Terre, Mars])
- **f_c** = 1 (pure spéculation: cette démarche serait une caractéristique de toute civilisation avancée)
- **L** = 75 (estimation minimale: il y a environ 3/4 de siècle que les Terriens contrôlent les ondes EM)

Avec ces valeurs, le nombre de civilisations extraterrestres qui pourraient se manifester aujourd'hui est:

$$N \approx 13 > 1$$

[D. Proust, "La formule de Drake", Sciences et Avenir, hors-série n°151, juillet/août 2007, p. 71.]