

# La griffe divine

par Elisa Brune

***Si les propriétés de l'univers avaient été un tant soit peu différentes, la vie ne serait jamais apparue. D'aucuns reconnaissent dans ce réglage très fin des constantes de l'univers un argument en faveur du dessein divin.***

Le sentiment spontané de l'homme s'éveillant à la conscience a été de considérer que la nature était trop complexe et trop bien organisée pour se passer de causes surnaturelles. On imagina des esprits dans chaque être et dans chaque manifestation mystérieuse. Elucidant peu à peu les phénomènes naturels, la science a cependant obligé ces causes surnaturelles à reculer sans cesse, ce qui fit dire à David Hume, au XVIII<sup>e</sup> siècle, que nous ne devons pas nécessairement invoquer un miracle chaque fois que nous manquons d'explication. Celle-ci viendra bientôt. Il reste pourtant, jusqu'à aujourd'hui, l'idée tenace d'un horloger à l'œuvre derrière la beauté et l'efficacité de la mécanique universelle.

Un nouveau type d'étonnement émerge au XX<sup>e</sup> siècle avec le développement de la physique et de l'astrophysique. La mise en évidence des lois et des constantes de la physique fait apparaître ce que l'on peut considérer comme des coïncidences curieuses. La liste s'en allonge rapidement, et la substance de l'argument est chaque fois la même : si telle ou telle valeur était seulement légèrement différente, la vie n'aurait jamais pu apparaître (voir l'encadré: « Qu'est-ce que le fine tuning? »).

Les réglages des valeurs des constantes seraient dans certains cas d'une finesse extraordinaire, inclinant certains à penser que l'univers est spécifiquement calibré pour donner naissance à la vie, car il est impossible qu'un tel ajustement soit le fait du hasard. Dans ce débat de fond, Robert Dicke est le premier à formuler, en 1961, l'idée selon laquelle notre présence en tant qu'observateurs pose des contraintes sur ce que nous observons, et donc peut dans une certaine mesure expliquer les coïncidences qui nous entourent. « Expliquer »: le mot prête à de nombreuses interprétations, qui n'ont pas manqué de se développer, entraînant d'interminables polémiques.

En 1974, Brandon Carter introduit la notion formelle de principe anthropique, dans l'intention de clarifier l'argument déjà largement transformé et adapté par chacun. Il apparaît pourtant vite qu'il est impossible de le formuler de façon totalement univoque. Certaines versions ressemblent à une tautologie. Une formulation du type « la présence d'observateurs dans l'Univers pose des contraintes sur celui-ci » revient à dire qu'un univers qui ne permet pas la présence d'observateurs ne peut pas être observé. Un tel principe ne paraît guère fécond. Une formulation, fort proche, comme « les paramètres et propriétés de l'univers doivent permettre la naissance d'observateurs en son sein » ouvre, quant à elle, la porte aux interprétations trop fortes, dans lesquelles le verbe « devoir » implique une finalité, voire une intentionnalité.

Il existe actuellement quelques dizaines de formulations du principe, regroupées en plusieurs catégories, dans une confusion qui témoigne d'un grand malaise. C'est que la question oblige les physiciens à flirter avec la métaphysique, au risque de glissements de registre. Ils sont du reste beaucoup moins présents que les non-physiciens dans le foisonnant débat qui entoure le principe anthropique et qui place celui-ci à plusieurs niveaux à la fois. Invoquer certains mystères pour soutenir une explication transcendante ne peut se justifier car, pour reprendre Hume, notre incompréhension ne prouve pas le miracle.

Il faut en revenir à ce que la physique parvient à dire de ces fameuses coïncidences.

Examinons l'argument même de l'ajustement fin ou *fine tuning*. Il repose sur l'idée que, si l'on modifie la valeur d'un seul paramètre de l'univers, celui-ci s'en trouve fortement transformé, calculs à l'appui. Mais que valent exactement de tels calculs, dans un paysage conceptuel encore instable et largement incomplet ? Notre théorie physique n'est pas cohérente ; elle est faite de plages qui se raccordent mal. En outre, elle ne permet actuellement de comprendre que 4% du contenu de

l'univers, fait de matière ordinaire. Le reste, matière noire et énergie sombre, se laisse deviner sans se laisser décrire et encore moins comprendre. Comment, dès lors, prétendre être sûr de ce qui se passerait pour l'univers entier si tel ou tel paramètre venait à se modifier ?

Par ailleurs, nos extrapolations ne valent que « toutes autres choses étant égales ». Or que savons-nous de l'indépendance des constantes universelles et des lois physiques ? Nous n'avons qu'un univers. Aucune expérimentation n'est possible, et croire que l'on pourrait construire un univers réel en modifiant uniquement tel ou tel paramètre est pour l'instant une hypothèse de travail que rien ne permet de mettre à l'épreuve. Il faut donc rester prudent quand nous prétendons décrire d'autres univers alors que nous ne disposons pas d'une théorie satisfaisante pour décrire l'univers tel qu'il est ; toute simulation utilise une théorie incomplète en y ajoutant une série d'hypothèses incertaines.

Et même dans ces conditions, quelle est la précision réelle de l'ajustement ? A en croire certains, la plus infime variation ici ou là mettrait tout l'édifice par terre. Une telle assertion fait plutôt partie du « mythe » anthropique. En effectuant des simulations qui jouent sur quatre paramètres fondamentaux : intensité de l'interaction électromagnétique, de l'interaction forte, masse du proton et masse de l'électron, Victor Stenger a montré que les univers produits contiennent très régulièrement des étoiles à longue durée de vie et des coïncidences entre grands nombres.

Le cas de la constante cosmologique mérite un examen à part. Son ajustement atteindrait une précision inimaginable. En effet, pour qu'elle ait la valeur minuscule qu'on lui attribue aujourd'hui, il faudrait qu'elle ait été ajustée à la 120ème décimale près au début de l'univers. Rappelons que la constante cosmologique traduit l'action de l'éventuelle énergie du vide, qui constituerait 70% de la masse-énergie totale de l'univers - dans ce scénario, la mystérieuse énergie sombre serait l'énergie du vide. Cette énergie possède la propriété remarquable d'afficher une densité constante. Or, un volume d'espace donné aujourd'hui était beaucoup plus petit dans le passé, environ  $10^{120}$  fois plus petit. L'énergie du vide qu'il contenait était donc  $10^{120}$  fois plus petite - puisque sa densité n'a pas changé. La moindre erreur d'ajustement entraînerait une différence colossale dans l'actuelle quantité totale d'énergie du vide, avec des conséquences désastreuses sur la courbure de l'univers. Une telle précision n'est pas seulement inouïe, elle est invraisemblable. Il est possible d'y voir la preuve d'une intervention divine, mais le physicien ne peut s'arrêter à ce genre d'explication. Il s'agit plutôt de retravailler le modèle. L'énergie du vide, après tout, n'est qu'une hypothèse pour expliquer une entité inconnue, l'énergie sombre. D'autres scénarios ont été proposés, qui invoquent d'autres formes d'énergie, et dans lesquels la constante cosmologique est nulle. Personne ne sait aujourd'hui ce qu'il en est vraiment de cette constante, mais il est important de retenir qu'une exigence de précision inouïe posée sur tel ou tel paramètre devrait en premier lieu faire soupçonner une pathologie de la théorie plutôt qu'un principe extérieur.

Enfin, l'argument selon lequel « la vie n'existerait pas si... » paraît singulièrement nombriliste. La vie telle que nous la connaissons, basée sur la chimie du carbone et l'organisation génétique, est en effet fortement dépendante des conditions présentes dans notre univers. Comment pourrait-il en aller autrement ? De notre adaptation au milieu, il n'est pas fondé de conclure l'inverse, que le milieu serait conçu pour nous. S'il semble conçu pour nous, c'est bien parce que nous avons été façonnés par lui. Il n'est pas non plus fondé de conclure que d'autres types de milieux seraient nécessairement stériles. Rien ne permet d'exclure la possibilité de formes de vie très différentes de la nôtre, que notre méconnaissance de l'environnement concerné et des formes d'organisation susceptibles de s'y développer nous empêche d'imaginer. En définitive, le temps et des éléments de base en quantité suffisante pourraient être les deux seules contraintes incontournables pour l'apparition de la vie. Mais nous ne savons rien des formes que prendrait cette vie dans un univers aux lois et constantes physiques différentes.

Une fois ces limites posées, il demeure légitime de se demander pourquoi l'univers affiche la configuration que nous lui connaissons.

Même si d'autres univers et d'autres formes de vie sont imaginables sur le papier, il n'en reste pas moins que notre univers correspond à une situation particulière, qui nous paraît improbable. Et l'on peut éprouver le désir de l'expliquer.

Insistons d'abord sur le fait qu'une situation improbable ne *doit* pas nécessairement être expliquée. Les joueurs du Loto savent bien qu'il n'y a pas de raison profonde derrière les tirages. La probabilité de gain de chaque joueur est infinitésimale, mais à la fin il y a un gagnant. De même, chaque face d'un dé qui roule n'a qu'une chance sur six de sortir, mais il y en a une qui sort. Si le dé possédait un milliard de milliard de faces, il y aurait toujours une face qui sortirait, si improbable fût-elle au départ. Et son occurrence ne serait pas le produit d'une loi déterministe. Aucune théorie ne permet de prévoir la face qui sortira. De même, les constantes fondamentales et les lois de la physique ne sont peut-être que les numéros qui sont sortis à la grande loterie de l'univers, et il n'y a pas lieu de les expliquer.

Le modèle standard s'accommode parfaitement d'une telle interprétation. Son paradigme central consiste à considérer chacune des quatre interactions fondamentales comme le produit d'une brisure de symétrie dans un univers en train de se refroidir. De même que l'eau se transforme en glace lorsqu'elle passe sous 0°C, l'interaction électrofaible subit un changement de phase et se brise en deux interactions distinctes lorsque l'univers passe au-dessous d'un certain niveau d'énergie. Lors de cette brisure, la forme des lois physiques et la valeur des constantes se figent, au même titre que la face sélectionnée lors d'un roulement de dé. Le dé aurait-il roulé autrement, les valeurs en seraient différentes.

Dans cette vision, les valeurs observées pour les constantes universelles sont contingentes, accidentelles ; aucune théorie physique, même complète, ne saurait les expliquer. Elles sont ce qu'elles sont parce qu'il se fait que le dé s'est arrêté dans cette position-là.

Dans l'état actuel des connaissances, il n'est pas impératif de se rallier à cette vision minimaliste. Si l'on continue à penser que les valeurs des constantes fondamentales doivent être expliquées, deux voies principales se présentent : les grands nombres ou le déterminisme classique.

La voie des grands nombres s'apparente à la vision précédente, sauf qu'elle supprime la contrainte, peu confortable pour certains, de ne disposer que d'un seul univers, c'est-à-dire d'un seul roulement de dé. Pourquoi ce résultat-là alors que des milliards d'autres sont possibles ? Eh bien, ces milliards d'autres existent également. De fait, tous les univers possibles ont été réalisés, et nous sommes dans celui qui nous a fabriqués. C'est ici que le principe anthropique prend un certain sens. Il affirme que nous observons l'univers particulier qui nous a enfantés, car il ne pourrait en être autrement, ce qui *n'empêche pas* l'existence d'autres univers, dont nous ne pouvons rien dire puisque nous ne pouvons les observer.

Les valeurs observées des constantes de la physique ne sont alors plus vraiment accidentelles. Elles le sont seulement pour nous qui vivons dans cet univers particulier, mais au total toutes les configurations sont réalisées, donc il y a une distribution de valeurs qui, elle, n'a rien d'accidentel. Elle répond aux lois de probabilité. Si elle était complète, la théorie physique devrait donc pouvoir expliquer la distribution des valeurs des paramètres, même si chaque configuration reste imprévisible.

Pour fabriquer des univers multiples, il existe deux grands scénarios, selon que l'on considère des univers simultanés ou des univers successifs. Dans le premier, développé notamment par Andre Linde et par Alex Vilenkin, différents univers surgissent d'un substrat commun, comme des bulles issues d'une mousse quantique, et coexistent sans interférer; ou bien ce sont des portions du même univers qui subissent des évolutions différentes suite à des poussées d'inflation chaotiques, auquel cas les constantes et les lois de la physique ne sont plus universelles mais limitées à des portions d'univers.

Dans le second scénario, développé par Lee Smolin, les différentes configurations se succèdent dans le temps car l'univers engendre d'autres univers, par l'intermédiaire des trous noirs. Chaque trou noir constitue le big-bang d'un nouvel univers, dont les paramètres fondamentaux sont hérités de l'univers-parent moyennant quelques modifications. Au fondement aléatoire de ces paramètres s'ajoute ici un ingrédient de type évolutif, car les univers les plus productifs en trous noirs se reproduisent plus que les autres. Et si l'on prouve que les conditions propices à la formation des trous noirs sont aussi celles qui sont propices à la vie - les arguments existent -, on tient un mécanisme qui, sans principe transcendant, tend vers l'apparition de la vie.

Dans les deux scénarios, notre existence est inévitable, puisque tous les possibles sont explorés. Pour sa part, le scénario évolutionniste introduit une notion d'efficacité assez originale.

Cependant, si la contingence est évacuée grâce aux univers multiples, c'est au prix d'une prolifération effarante d'objets physiques bien difficiles à modéliser et encore plus à corroborer par l'observation.

Quant à la voie du déterminisme classique, elle est en pleine effervescence à l'heure actuelle. On peut penser qu'il y a *quelque chose* qui fait que les constantes ont les valeurs qu'elles ont, et que ce quelque chose fera un jour partie de la théorie. Si la physique progresse encore vers l'unification, si elle parvient à fusionner relativité générale et théorie quantique, c'est-à-dire probablement à les englober dans une théorie plus fondamentale, il est permis de supposer que les valeurs des constantes fondamentales n'apparaîtront plus comme des paramètres exogènes, mais comme des produits de la théorie. C'est le vœu de beaucoup de physiciens qui travaillent activement à construire cette nouvelle physique. Peut-être aussi certaines constantes découlent-elles de la logique interne de la théorie, tandis que d'autres demeurent contingentes.

Quelle place reste-t-il pour le principe anthropique ? Si l'on en revient à la vision de ses fondateurs, il a un rôle heuristique car il nous rappelle de ne pas prendre ce que nous voyons pour la réalité ultime et totale de l'univers. Il est évident que nous ne pouvons voir que ce qui s'offre à notre regard - et n'est pas nécessairement représentatif. Brandon Carter propose cette analogie : lorsque vous partez marcher en forêt et que vous ne voyez aucun animal, cela ne veut pas dire que la forêt ne contient pas d'animaux. C'est votre présence qui les a fait fuir. Il ajoute que l'idée aurait peut-être été mieux comprise s'il l'avait appelée « principe de sélection anthropique » plutôt que principe anthropique. C'est donc une idée de simple bon sens, presque un principe de précaution anthropique : sachant que nous sommes là, nous ne pouvons pas observer n'importe quoi, seulement ce qui est compatible avec notre présence. Et cela n'apporte rien en soi, sauf quand on s'aperçoit qu'on l'a négligé. Supposer, par exemple, que l'univers est d'un âge quelconque est une erreur plus facilement commise qu'on ne le croit. Le mérite essentiel du principe anthropique consiste, finalement, à poser une limite au principe copernicien, ou principe de médiocrité, qui considère que notre position est parfaitement quelconque. Il est vrai que nous vivons sur une planète comme une autre, autour d'une étoile comme une autre, dans une galaxie comme une autre – et jusque-là le principe copernicien a dû nous enlever toutes nos illusions. Mais il n'est pas vrai que nous vivions à un moment quelconque. Il n'est pas vrai non plus que nous fassions des observations quelconques. Nous observons ce que notre qualité d'humains nous rend capables d'observer. C'est beaucoup, mais ce n'est peut-être pas représentatif de l'univers.

Les promoteurs les plus convaincus du principe anthropique l'on souvent utilisé à rebrousse-poil, transformant « nous sommes là, donc l'univers est tel » en « l'univers est tel parce que nous sommes là », puis en « l'univers est tel pour que nous soyons là », sans même justifier ce renversement. En saisissant néanmoins l'occasion d'invoquer un principe extérieur, une intentionnalité transcendante, puisque nous n'étions pas là au moment d'ajuster la machinerie du big-bang.

Encore que...

On pourrait se prendre à rêver d'un scénario de science-fiction où, dans un avenir lointain, il dépendrait de nous d'agir sur les paramètres de l'univers et de déterminer leur valeur de départ afin de permettre la vie dans l'univers. La boucle est du même type que celle qui imposerait à un héros voyageant dans le temps de rendre effective la rencontre de ses parents.

Dans un tel cas, l'intentionnalité aussi bien que l'explication existeraient sans avoir rien de transcendant. En revanche, elles violeraient complètement les principes de base de la physique. Jusqu'ici, tout indique que la rétroaction est totalement exclue des scénarios possibles. Il s'agit bien de science-fiction. **Encadré : Qu'est-ce que le « fine-tuning » ?**

Dans une première approche, on pourrait dire qu'un paramètre cosmique est ajusté si une légère modification de sa valeur entraîne l'impossibilité pour la vie de se développer. Cette définition présente deux problèmes. Le premier problème tient à la métrique mobilisée. Qu'est-ce qu'une légère modification ? On trouve des ordres de grandeur bien différents dans les arguments de *fine-tuning* ou réglage fin. En voici trois exemples :

Si la constante de gravitation était dix fois plus élevée, la masse des étoiles serait beaucoup plus petite et elles vivraient mille fois moins longtemps.

Pour assurer la production massive du carbone dans le cœur des étoiles, il faut que la force nucléaire faible soit réglée à quelques pourcents près.

Pour atteindre aujourd'hui la valeur observée, l'écart initial entre la densité réelle de l'univers et la densité critique devait être inférieur à  $10^{-60}$ .

Ces trois affirmations concourent-elles à soutenir le même argument ?

Le second défaut de cette définition est qu'elle ne tient pas compte des probabilités. En effet, même très finement ajusté, un paramètre ne cause pas forcément de surprise, parce qu'il se peut qu'il n'ait pas d'autre valeur permise.

Ainsi, on pourrait proposer une deuxième définition : Un paramètre cosmique est ajusté si la probabilité qu'il prenne une valeur compatible avec l'apparition de la vie est extrêmement faible. Pour dire si un paramètre satisfait à cette définition, il faut connaître la gamme de ses valeurs possibles ainsi que la distribution de probabilité. Rares sont les approches qui tentent de discuter ces éléments, encore plus rares celles qui ont les moyens de fournir des réponses. La solution généralement choisie est le principe d'indifférence, à savoir que toutes les valeurs sont possibles et également probables. Si toutes les valeurs sont possibles, alors la gamme est infinie, et la probabilité de toute valeur précise ou même de tout intervalle fini doit être considérée comme nulle. Donc, l'univers que nous observons est hautement improbable par définition.

Une troisième approche consiste à dire que nous n'avons pas besoin de considérer toutes les valeurs possibles. Il y a peut-être des possibilités d'univers très différents du nôtre susceptibles d'abriter d'autres formes de vie. Pourtant, nous voulons savoir si, dans le voisinage des valeurs que prennent les paramètres de *notre* univers, la probabilité de vie est grande ou pas. Cela revient à réduire les gammes de valeurs possibles pour chaque paramètre à un intervalle fini. La difficulté sera alors de définir cet intervalle. On peut toujours le choisir de façon à ce que le paramètre *paraisse* ajusté.