

En 1950, le physicien italien Enrico Fermi s'est posé la question suivante. Si la Voie lactée contient plus de 100 milliards d'étoiles et que le Système solaire n'y constitue pas une exception, le nombre de planètes où la vie se serait développée devrait être gigantesque. Dans ce cas, une vie intelligente aurait dû se développer sur certaines d'entre elles et, tôt ou tard, se serait répandue dans toute la galaxie. Mais alors, pourquoi n'avons-nous détecté aucune civilisation extraterrestre? Pourquoi les extraterrestres ne nous ont-ils pas contactés? Où sont-ils tous?

Ce raisonnement est connu sous le nom de paradoxe de Fermi et, bien qu'il ait donné lieu à une foule d'hypothèses, nous ne disposons à l'heure actuelle d'aucune explication vraiment satisfaisante. Pourtant, depuis quelques années, l'étude d'un certain type de catastrophes cosmiques – les sursauts gamma – suggère que la vie complexe est peut-être beaucoup moins fréquente qu'on ne le pensait. Ces explosions d'étoiles comptent parmi les phénomènes les plus violents de l'Univers et leurs effets dévastateurs s'exercent à des milliers d'années-lumière de distance. Bien qu'on les observe depuis les années 1960, nous ne commençons qu'aujourd'hui à prendre la mesure de leurs effets «stérilisateurs». Ces événements, s'ils sont nombreux, pourraient en effet compromettre l'existence même de la vie complexe au sein des galaxies.

LES SURSAUTS GAMMA, DESTRUCTEURS DE VIE

Les sursauts gamma expliqueraient le paradoxe de Fermi, mais leur influence sur l'Univers s'étend bien au-delà. Une analyse détaillée montre que la répartition et le nombre de ces événements dans les galaxies sont intimement liés aux lois les plus fondamentales de l'Univers. Avec des conditions initiales légèrement différentes, le cosmos aurait pu être dénué de galaxies (et donc n'hébergerait pas la vie) ou en aurait produit en grande quantité avec de nombreux sursauts gamma (et la vie complexe y aurait été impossible).

Ce constat suggère que les conditions de l'Univers dans lequel nous vivons se situent dans une étroite fenêtre, définies par des principes physiques encore inconnus, qui autorisent l'existence d'une vie complexe, du moins de la vie telle que nous la connaissons sur Terre. En considérant quelques arguments supplémentaires d'ordre statistique, cet «ajustement fin» soutient peut-être l'une des idées les plus controversées de la science actuelle: l'hypothèse du multivers.

Le raisonnement qui nous amène à relier la présence de la vie dans le cosmos aux sursauts

Les effets dévastateurs des sursauts gamma se manifestent sur des milliers d'années-lumière

gamma et à l'existence de nombreux univers parallèles implique toutes les échelles de la physique: depuis les lois quantiques à la chimie en passant par les processus astrophysiques et l'organisation du cosmos dans son ensemble.

Un élément crucial dans cette discussion est la formation des galaxies. Pourquoi l'Univers s'est-il structuré ainsi, en d'innombrables galaxies, au lieu d'être simplement uniforme et homogène? La réponse, surprenante, est une des grandes découvertes de la cosmologie moderne: les grandes structures de l'Univers trouvent leur origine dans les fluctuations quantiques du vide. Cette conséquence du principe d'incertitude de Heisenberg, intimement liée à la nature quantique du monde, implique que, dans les divers points de l'espace, la densité d'énergie varie spontanément pendant d'infimes fractions de seconde.

En 1981, deux physiciens soviétiques, Gennady Chibisov (décédé en 2008) et Viatcheslav Mukhanov, aujourd'hui au centre Arnold-Sommerfeld de physique théorique, à Munich, ont proposé cette idée: de telles fluctuations quantiques dans l'Univers primordial ont été amplifiées durant la phase d'inflation cosmique, un gonflement exponentiel de l'espace. Ce phénomène, qui se serait déroulé au cours de la toute première fraction de seconde de l'histoire cosmique, aurait eu pour conséquence l'apparition d'irrégularités dans la distribution de la matière, avec des zones plus ou moins denses qui, plus tard, ont constitué les grands vides cosmiques et les énormes amas de galaxies que nous observons aujourd'hui.

Depuis une dizaine d'années, grâce aux observations détaillées du fond diffus cosmologique (le premier rayonnement émis dans l'Univers alors âgé de 380 000 ans), réalisées par les sondes WMAP de la Nasa et Planck, de l'ESA, les cosmologistes ont des arguments solides qui soutiennent la théorie de Gennady Chibisov et Viatcheslav Mukhanov. Celle-ci n'en reste pas moins étonnante. Les lois qui gouvernent l'Univers à l'échelle subatomique

seraient donc responsables des structures aux plus grandes échelles.

L'inflation joue un rôle essentiel dans ce qui précède, puisque c'est précisément la colossale expansion primordiale de l'espace qui a porté les fluctuations quantiques initialement microscopiques à des dimensions cosmiques. La théorie de l'inflation a été développée à la fin des années 1970 et au début des années 1980 par Alexei Starobinsky, de l'institut Landau de physique théorique de Moscou, Andrei Linde, aujourd'hui à l'université Stanford, Alan Guth, du MIT (l'institut de technologie du Massachusetts) et Viatcheslav Mukhanov (même s'il est vrai qu'on peut faire remonter les origines de l'inflation aux articles des physiciens Bill McCrea en 1951 et d'Erast Gliner en 1965).

L'inflation est compatible avec toutes les observations actuelles. Elle explique de façon satisfaisante l'origine des grandes structures cosmiques, mais aussi pourquoi, à très grande échelle, l'Univers est plat (sans courbure apparente). Elle rend aussi compte de plusieurs propriétés subtiles du fond diffus cosmologique. Ce rayonnement est désormais mesuré et cartographié avec une grande précision. Nous savons que si sa température est très uniforme à travers tout le ciel, elle présente d'infimes irrégularités, de l'ordre de quelques parties pour 100 000. Ces variations reflètent les hétérogénéités primordiales de la

distribution de matière, toujours manifestes à l'époque où le rayonnement a été émis et qui seront les germes d'où allaient croître les galaxies. Jusqu'à présent, les observations confirment cette idée, de même que toutes les autres prédictions de la théorie de l'inflation.

DES UNIVERS BAYÉSIENS

Mais malgré ses succès, la théorie de l'inflation a des implications controversées parmi les scientifiques. Au début des années 1980, Andrei Linde, et d'autres, ont suggéré que l'Univers tout entier était lui-même le produit de fluctuations quantiques ! Et l'inflation ne produirait pas un seul univers, mais une infinité d'univers – ce qu'on appelle le multivers.

Tous les modèles inflationnaires postulent l'existence d'un champ quantique, l'inflaton, responsable de la croissance exponentielle de l'espace aux premiers instants du cosmos. La dynamique de l'inflaton peut être représentée comme celle d'une boule qui roule sur une colline. Lorsque la bille se trouve au sommet, elle a une grande énergie potentielle. Dans le cas de l'inflaton, c'est cette énergie qui déclenche l'expansion de l'espace à un rythme vertigineux. Une fois qu'elle a dévalé la pente, la balle a perdu son énergie potentielle. Traduit en termes cosmologiques, ce moment marque la fin de l'inflation. À partir de là, l'Univers continue à s'étendre, mais au rythme beaucoup plus lent prédit par la théorie originelle du Big Bang.

L'inflation a amplifié les fluctuations quantiques du vide, mais le champ quantique qu'est l'inflaton était aussi soumis au principe d'incertitude de Heisenberg. Les fluctuations de ce champ ont influé sur sa dynamique. Pour reprendre l'analogie de la bille sur sa colline, tout se passe comme si, au lieu de simplement rouler vers le bas tout du long, elle pouvait par moments s'arrêter, voire remonter brièvement de façon spontanée. Cela implique qu'en diverses régions de l'espace, la phase d'inflation aurait démarré et se serait arrêtée à des moments différents. Nous vivrions ainsi dans une « bulle » à l'intérieur de laquelle l'inflation s'est arrêtée à >

L'ÉQUATION DE DRAKE

En 1961, le radioastronome américain Frank Drake a proposé une équation qui évalue le nombre N de civilisations extraterrestres intelligentes dans la Voie lactée. Cette formule est définie comme le produit de différents facteurs : le taux moyen R^* de formation d'étoiles dans la Voie lactée, la fraction f_p de ces étoiles ayant des planètes, le nombre moyen n_e de planètes potentiellement habitables par étoile, la fraction f_e de ces planètes où la vie se développe, la fraction f_i de ces formes de vie qui développent une intelligence et une civilisation, la fraction f_c de ces civilisations qui construisent des moyens de communication détectables depuis la Terre et la période L durant laquelle ces civilisations émettent un signal. Dans son estimation initiale, Frank Drake avait estimé à 10 le nombre de ces civilisations extraterrestres dans la Voie lactée. Mais la valeur attribuée à chaque paramètre présente parfois des incertitudes couvrant plusieurs ordres de grandeur, ce qui rend l'estimation très grossière.

