

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

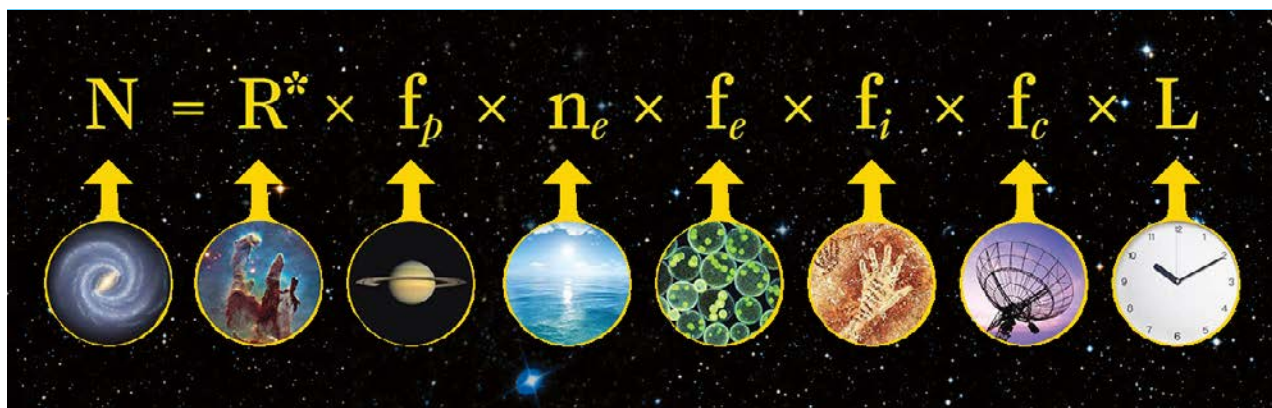
Mais malgré ses succès, la théorie de l'inflation a des implications controversées parmi les scientifiques. Au début des années 1980, Andrei Linde, et d'autres, ont suggéré que l'Univers tout entier était lui-même le produit de fluctuations quantiques ! Et l'inflation ne produirait pas un seul univers,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



UN ÉVÉNEMENT ASTROPHYSIQUE VIOLENT

La solution au paradoxe de Fermi vient peut-être d'un type d'explosions stellaires : les sursauts gamma. Plusieurs travaux récents suggèrent que, à cause de leurs effets dévastateurs, la vie complexe est peut-être beaucoup moins fréquente dans l'Univers qu'on ne le pensait. Le danger que les sursauts gamma représentent dépend également de la position de la planète abritant la vie au sein de la galaxie.



Sursaut gamma

DES EXPLOSIONS MORTELLES

Les sursauts gamma comptent parmi les phénomènes les plus violents de l'Univers : en quelques secondes, ils peuvent libérer autant d'énergie que le Soleil durant toute son existence. Ils se produisent essentiellement lors de l'explosion en supernova d'étoiles très massives. Leurs effets sont destructeurs sur des distances de plusieurs milliers d'années-lumière.

MENACE SUR LA VIE COMPLEXE

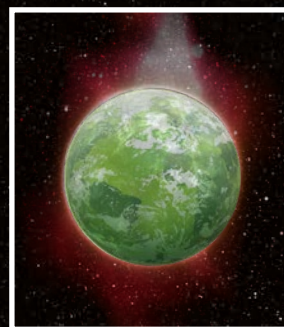
Si le rayonnement d'un sursaut gamma proche atteignait une planète comparable à la Terre, la couche d'ozone serait détruite en quelques jours. Les organismes seraient alors soumis au rayonnement ultraviolet de leur étoile, ce qui affecterait les formes de vie dépendant de la photosynthèse.

Sans sursaut gamma



Couche d'ozone

Avec sursaut gamma



Galaxie géante

Galaxie naine

LA RÉPARTITION DES SURSAUTS GAMMA

Les sursauts gamma se produisent plus fréquemment dans les galaxies de petite taille (les galaxies naines, *ci-contre*) où la production d'éléments lourds est faible. Dans les grandes galaxies comme la Voie lactée, on les trouve surtout vers le centre (*en rouge, à gauche*). Les régions plus périphériques (*en bleu*) sont relativement à l'abri, mais on y trouve également moins de planètes.

PROBABILITÉ DE SURVIE

Au sein d'une galaxie comparable à la Voie lactée, la probabilité de survie de la vie complexe sur une planète dépend de sa distance au centre galactique. Pour un monde comme la Terre situé à bonne distance, la probabilité qu'un sursaut gamma détruise la couche d'ozone est d'environ 50 % tous les 500 millions d'années. La survenue d'un sursaut gamma est l'une des explications possibles de l'extinction massive de l'Ordovicien, qui s'est produite il y a 450 millions d'années.

