

une trajectoire sur une hyperbole. Regarder dans le passé, c'est regarder vers la paroi de la bulle. En principe, nous pourrions regarder en dehors de la bulle et voir ce qui s'est passé avant le Big Bang, mais, en pratique, l'Univers primordial, dense et opaque, bloque la lumière en provenance de l'extérieur.

L'ouvert dans le fermé

Cette fusion de l'espace et du temps permet de loger un univers hyperbolique et ouvert à l'intérieur d'une bulle sphérique fermée, mais en expansion. Pour un observateur situé dans la bulle, l'espace est un mélange de l'espace et du temps tels qu'ils sont perçus par un observateur situé en dehors de la bulle.

Avec le concept étrange des bulles d'Univers, les cosmologistes peuvent admettre que Ω soit différent de un. Si la théorie de la formation des bulles explique les hyperboles, elle ne précise pas leur taille. Celle-ci est déterminée par le potentiel de l'inflaton et elle varie dans le temps en accord avec la valeur de Ω . Initialement, Ω est nul dans la bulle. Sa valeur augmente pendant l'inflation et tend vers un : les hyperboles commencent avec une forte courbure et elles s'aplatissent progressivement. Le potentiel de l'inflaton impose le rythme et la durée de l'aplatissement. Quand l'inflation dans la bulle prend fin, Ω est en équilibre extrêmement près de un, mais légèrement inférieur. On peut choisir le potentiel de l'inflaton tel que la durée de l'inflation dans la bulle ait juste la bonne valeur (à quelques pour-cent près) et que la valeur actuelle de Ω soit en accord avec la valeur observée.

À première vue, le processus d'inflation en plusieurs étapes semble alambiqué, mais la conclusion principale est simple : l'uniformité et la forme de l'Univers ne sont pas nécessairement reliées. Elles résultent, au contraire, d'étapes différentes de l'inflation : l'uniformité de l'inflaton avant la nucléation de la bulle ; la forme de l'inflaton au sein de la bulle. Comme les deux propriétés ne sont pas liées, le besoin d'uniformité ne détermine pas la durée de l'inflation, qui dure juste assez longtemps pour donner aux hyperboles le degré d'aplatissement désiré.

En fait, cette formulation est une extension directe de la théorie du Big Bang. La vision habituelle de l'inflation

décrit ce qui se passe juste avant l'expansion du Big Bang. La nouvelle théorie, ou théorie de l'inflation ouverte, décrit l'étape qui a précédé. Une théorie qui décrirait des temps encore plus reculés serait nécessaire pour expliquer la création originelle de l'Univers (voir l'encadré de la page 52).

La vie dans une bulle d'Univers a un certain nombre de conséquences intéressantes. Ainsi, un observateur extraterrestre pourrait passer de l'extérieur à l'intérieur de la bulle, mais, une fois à l'intérieur, cet observateur (comme nous) ne pourrait plus en sortir, car cela nécessiterait de voyager à une vitesse supérieure à celle de la lumière.

Une autre conséquence est que notre univers fait partie d'une infinité d'autres bulles immergées dans une vaste écume de faux vide en expansion éternelle. Que se passerait-il si deux bulles entraient en collision ? Leur rencontre produirait une explosion cosmique qui détruirait tout dans les bulles au voisinage du point d'impact. Heureusement, comme la nucléation des bulles est un processus extrêmement rare, un tel cataclysme est peu probable. Même s'il s'en produisait un, une partie notable des bulles resterait intacte : aux yeux des observateurs situés dans la bulle, mais loin de l'impact, l'événement apparaîtrait comme une région très chaude dans le ciel.

Comment tester cette théorie ? Certes, elle explique pourquoi l'Univers est homogène, mais les cosmologistes cherchent des prévisions quantitatives que des travaux d'astrophysique analyseraient. Les conséquences spécifiques de l'inflation ouverte ont été calculées en 1994.

Les théories de l'inflation et de l'inflation ouverte font toutes deux des prévisions fondées sur des effets quantiques, à l'origine de faibles différences

dans la vitesse d'inflation en différents points de l'espace. Quand l'inflation a pris fin, l'excès d'énergie qui subsistait dans le champ d'inflation a pris la forme de rayonnements ordinaires et a provoqué l'explosion du Big Bang. Si la durée de l'inflation a varié selon les points de l'espace, la quantité d'énergie résiduelle a également varié, tout comme la densité de rayonnement.

Le rayonnement cosmologique diffus fournit un instantané de ces fluctuations. Selon l'inflation ouverte, il a été perturbé non seulement par les fluctuations qui existaient à l'intérieur de l'Univers, mais aussi par celles qui naissaient hors de la bulle et se propageaient à l'intérieur. D'autres fluctuations auraient été créées par des imperfections de la nucléation de la bulle. Ces caractéristiques devraient être les plus notables aux échelles les plus grandes : elles nous permettraient de regarder en dehors de notre bulle d'Univers. En outre, l'inflation ouverte devrait avoir d'autres conséquences, purement géométriques (voir l'encadré de la page 55).

Avec la précision actuelle des observations astronomiques, on ne peut savoir si les prévisions de l'inflation ouverte sont mieux vérifiées que celles de l'inflation classique. On ne pourra trancher qu'avec les mesures du *Détecteur d'anisotropies micrométriques*, un satellite que la NASA lancera à la fin de 2000. Un dispositif européen plus perfectionné, nommé *Planck*, devrait être lancé en 2007. Ces satellites effectueront des observations semblables à celles du satellite *COBE*, qui a mesuré le rayonnement cosmologique diffus il y a une dizaine d'années, mais avec une bien meilleure résolution. Si aucune théorie existante ne convenait, les cosmologistes devraient alors trouver de nouvelles idées pour décrire les événements des tout premiers moments de l'Univers.

Martin BUCHER est chercheur à l'Université de Cambridge. David SPERGEL est professeur d'astrophysique à l'Université de Princeton.

Alan GUTH et Paul STEINHARDT, *L'Univers inflatoire*, in *Pour la Science*, juillet 1984.

Eugene F. MALLOVE, *The Self-Reproducing Universe*, in *Sky & Telescope*, vol. 76, n° 3, pp. 253-256, septembre 1988.

P. JAMES, E. PEEBLES, David SCHRAMM, Edwin TURNER et Richard KRON, *L'évolution de l'Univers*, in *Pour la Science*, décembre 1994.

Andrei LINDE, *L'Univers inflatoire auto-reproducteur*, in *Pour la Science*, janvier 1995.

Martin BUCHER, Alfred S. GOLDBERGER et Neil TUROK, *Open Universe from Inflation*, in *Physical Review D*, vol. 52, n° 6, pp. 3314-3337, 15 septembre 1995.

J. MATHER et J. BOSLOUGH, *The Very First Light : The True Inside Story of the Scientific Journey Back to the dawn of the Universe*, BasicBooks, 1996.

Alan H. GUTH, *The Inflationary Universe : The Quest for a New Theory of Cosmic Origins*, Perseus Press, 1997.
