

tique qui gouverne l'inflation, et tout ce qui peut arriver arrive. Et si la théorie de l'inflation ne fait pas de prédictions fermes, à quoi sert-elle ?

Le problème sous-jacent est que les comportements atypiques ne sont pas pénalisés, et même au contraire. Les régions où la fin de l'inflation est en retard continuent à croître à un rythme accéléré et prennent donc immanquablement le dessus. Dans une situation idéale, toute région qui ne suit pas le rythme général se dilaterait plus lentement ou, mieux encore, rétrécirait. L'essentiel de l'Univers serait alors constitué de régions au comportement « sage », où le lissage prend fin en temps et en heure, et l'univers observé aurait alors le confort de la normalité.

Une théorie alternative à la cosmologie inflationnaire que mes collègues et moi-même avons proposée jouit précisément de cette propriété. Selon cette « théorie cyclique », comme on la nomme, le Big Bang n'est pas le commencement de l'espace et du temps, mais plutôt un « rebond » à partir d'une phase précédente de contraction vers une nouvelle phase d'expansion, accompagnée par la création de matière et de rayonnement. Cette théorie est cyclique parce que, au bout de 1 000 milliards d'années, l'expansion dégénère en contraction, jusqu'à un nouveau rebond et ainsi de suite. Le point clef est que le lissage de l'Univers se produit avant le Big Bang, au cours de la période de contraction (de façon moins intuitive que la dilatation, une contraction suffisante rend aussi un matériau homogène). Toute région en retard continue à se contracter pendant que les régions normales rebondissent en temps et en heure et commencent à se dilater, si bien que les régions retardées restent comparativement petites et négligeables.

Le lissage pendant la contraction a une conséquence observable. Durant toute phase de lissage, que ce soit dans la théorie de l'inflation ou la théorie cyclique, les fluctuations quantiques engendrent de petites distorsions de l'espace-temps qui se propagent, nommées ondes gravitationnelles, et qui laissent une empreinte caractéristique sur le rayonnement de fond diffus. Leur amplitude est proportionnelle à la densité d'énergie. Dans la théorie classique, l'inflation se produit à un stade où l'Univers est très dense, alors que le processus équivalent dans la théorie cyclique se produit quand l'Univers est pratique-

ment vide, si bien que l'empreinte des ondes gravitationnelles serait radicalement différente. Bien sûr, la théorie cyclique est relativement jeune et pourrait rencontrer ses propres problèmes, mais elle illustre l'existence d'alternatives qui ne seraient pas soumises à une inflation éternelle et incontrôlable. Nos travaux préliminaires suggèrent que le modèle cyclique n'est pas affecté par les autres problèmes décrits précédemment.

Bien sûr, je viens de présenter des arguments pour et contre l'inflation comme deux positions radicales, sans laisser la place à un contre-interrogatoire et sans y mettre de nuances. Lors d'une réunion sur ces sujets organisée en janvier 2011 au Centre de physique théorique de Princeton, de nombreux physiciens éminents ont plaidé que les problèmes de l'inflation n'étaient que des « douleurs de croissance », et ne devraient pas ébranler notre confiance dans l'idée de base de la théorie. D'autres, dont je suis, pensaient au contraire que les problèmes affectent le cœur de la théorie, et qu'elle doit être sérieusement corrigée ou remplacée.

Le test des ondes gravitationnelles

Au bout du compte, ce sont les données observationnelles qui trancheront. Les prochaines observations du fond diffus cosmologique par le satellite *Planck* et d'autres missions au sol ou embarquées en ballon seront déterminantes. Des expériences pour rechercher l'empreinte des ondes gravitationnelles sont déjà en cours, et les résultats devraient émerger d'ici deux à trois ans. La détection d'une empreinte d'onde gravitationnelle étayerait la théorie de l'inflation ; l'absence de détection serait un revers majeur. Pour que l'inflation ait un sens en dépit d'un résultat nul, les cosmologistes devraient supposer que l'inflaton avait un potentiel très particulier, avec juste la forme adéquate pour étouffer les ondes gravitationnelles, ce qui semble assez peu probable. De nombreux chercheurs se tourneraient alors vers des théories alternatives, comme celle de l'univers cyclique, qui prédit naturellement un signal d'ondes gravitationnelles si faible qu'il ne serait pas observable. Ce résultat sera un moment critique dans notre quête pour déterminer pourquoi l'Univers est tel qu'il est, et ce que l'avenir lui réserve. ■

L'AUTEUR



Paul STEINHARDT est directeur du Centre de physique théorique de l'Université de Princeton, aux États-Unis.

✓ BIBLIOGRAPHIE

M. Bojowald, *L'Univers rebondissant*, *Pour la Science*, n° 375, janvier 2009.
http://bit.ly/pls375_rebond

G. Gibbons et N. Turok, *The measure problem in cosmology*, *Physical Review D*, vol. 77 (6), 063516, mars 2008. Prépublication : <http://arxiv.org/abs/hep-th/0609095>

P. Steinhardt et N. Turok, *Endless Universe : Beyond the Big Bang*, Doubleday, 2007.

G. Veneziano, *L'Univers avant le Big Bang*, *Pour la Science*, n° 320, juin 2004.
http://bit.ly/pls320_bigbang

A. Linde, *Quantum cosmology, inflation, and the anthropic principle*, dans *Science and Ultimate Reality : Quantum Theory, Cosmology and Complexity*, Cambridge University Press, 2004.

A. Guth, *The Inflationary Universe*, Basic Books, 1998.