

Le sens caché de la cosmologie moderne

JAMES PEEBLES

Les nombreuses théories cosmologiques vous laissent perplexes? Tant mieux!

Nous vivons une époque fascinante pour les cosmologistes. Les découvertes pleuvent, les idées foisonnent et les recherches pour les valider battent leur plein. Toutes les hypothèses évoquées aujourd'hui ne peuvent être vraies ; elles se contredisent même en partie. Dès lors, comment repérer les véritables progrès? Voici comment je m'y prends.

Après d'interminables discussions, les cosmologistes ont enfin réussi à doter leur science de fondations solides. Toute une série d'indices accumulés au cours des 70 dernières années indique que l'Univers est en expansion et se refroidit. Tout d'abord, la lumière qui nous parvient des galaxies éloignées est décalée vers le rouge ; c'est bien ce que prédit la théorie si l'espace est en expansion, ce qui éloigne les galaxies les unes des autres. Deuxième indice, un rayonnement thermique emplit l'espace, comme cela doit être le cas si l'Univers a été plus dense et plus chaud dans le passé. Troisième indice : l'Univers contient des quantités importantes de deutérium et d'hélium, ce qui confirme que sa température a été bien supérieure dans le passé. Quatrième indice : les galaxies situées à des milliards d'années-lumière de nous ont les caractéristiques d'objets jeunes ; c'est normal, puisque leur lumière fut émise à une époque proche de celle où il n'y avait encore aucune galaxie! Dernier indice : la courbure de l'espace-temps semble liée au contenu matériel de l'Univers, ce qui, selon la théorie de la gravitation d'Einstein, la relativité générale, doit être vrai pour un Univers en expansion.

Par essence, la théorie du Big Bang décrit la façon dont notre Univers croît tout en se refroidissant. Vous l'avez remarqué : je n'ai pas parlé d'explosion : la théorie du Big Bang décrit seulement l'évolution de l'Univers, mais reste muette sur son origine.

Que ce soit en cosmologie ou dans une autre science, je compare généralement la mise au point de résultats scientifiques importants, tel celui d'un

la théorie «adverse» prônée par certains – le dernier modèle d'Univers stationnaire – ne contredit nullement la théorie d'un Univers en expansion qui se refroidit. En fait, s'il reste des controverses en cosmologie, elles concernent les «dépendances», la maison principale étant solidement bâtie.

Ainsi, on s'interroge sur l'état de l'Univers avant sa phase d'expansion. La théorie de l'inflation est la plus séduisante, mais elle manque d'«étais» pour être bien établie. Ce sont précisément ces états manquants que les cosmologistes recherchent. Si les mesures en cours confirment l'existence de signatures spécifiques de l'inflation, nous les rangerons au nombre des arguments forts en faveur de cette théorie. Toutefois, d'ici là, je ne parierai pas que l'inflation a bien eu lieu. Je ne critique pas cette théorie ; je dis simplement que la théorie de l'inflation est un courageux travail de pionnier, qui a encore besoin d'être validé.

Je suis davantage convaincu, avec d'autres cosmologistes, que la majeure partie de la masse de l'Univers consiste en une «matière noire», amassée à la lisière des galaxies. Nous avons aussi des arguments pour dire que l'infâme constante cosmologique d'Einstein ou quelque chose d'approchant serait un accélérateur de l'expansion de l'Univers. Il y a dix ans, les cosmologistes voyaient la matière noire comme une façon élégante d'expliquer le mouvement des étoiles et des gaz dans les galaxies. En revanche, la constante cosmologique déplaisait énormément à la plupart des astrophysiciens. Aujourd'hui, la majorité s'est ralliée au concept



Univers en expansion qui se refroidit, à la construction d'une charpente. Une fois un résultat expérimental obtenu, nous l'étayons à l'aide de diverses mesures croisées. Aujourd'hui, l'hypothèse d'un Univers en expansion est suffisamment étayée. De même, la théorie du Big Bang n'est plus remise en question sérieusement ; ses divers éléments s'adaptent trop bien entre eux. Même

Les principales théories cosmologiques

Concept	Appréciation	Commentaire
L'Univers est issu d'un état chaud et condensé.	Excellent	Multiples preuves convaincantes fournies par l'astronomie et de la physique.
L'Univers se comporte comme la théorie de la relativité générale le prévoit.	Très bon	A passé tous les tests jusqu'à présent, mais ils étaient peu contraignants.
La matière noire, constituée de particules exotiques, domine la dynamique des galaxies.	Bon	De nombreuses preuves indirectes, mais ces particules exotiques restent à identifier, et on doit trouver les failles des autres théories
L'essentiel de la masse de notre Univers est distribuée uniformément. Son effet est similaire à celui de la constante cosmologique d'Einstein : elle accélère l'expansion de l'Univers.	Assez bon	Les observations récentes sont encourageantes, mais de nouvelles mesures devront les confirmer, et les difficultés théoriques associées devront être résolues.
L'Univers est passé par une phase d'inflation.	Insuffisant	Théorie élégante, mais qui ne repose sur aucune preuve directe, et qui impose une extrapolation énorme des lois physiques.

Robert Gendler

de constante cosmologique ou au concept voisin de quintessence. Pour leur part, les physiciens des particules s'intéressent au défi que pose la constante cosmologique à la théorie quantique. Cette évolution rapide de la majorité des cosmologistes n'est pas le signe d'une versatilité particulière. Au contraire, elle témoigne d'une saine effervescence autour d'une structure solide, qui croît lentement. Nous sommes les élèves de la nature, et nos conceptions changent à mesure que les leçons du professeur portent leurs fruits.

Dans son cours sur l'évolution du cosmos, la nature nous donne des signes de l'accélération de l'expansion de l'Univers : la luminosité apparente des supernovae proches ou lointaines ; l'âge des étoiles les plus vieilles ; la courbure de la lumière au voisinage des masses distantes ; les fluctuations de température du fond cosmologique diffus. Ce faisceau d'indices est impressionnant, mais je reste mal à l'aise à propos de la constante cosmologique, notamment à cause de certaines contradictions possibles entre l'évolution des galaxies et leur distribution spatiale. La théorie d'un Univers en expansion

accélérée est un chantier. Si j'admire l'architecture de l'édifice qui se dessine, je ne suis pas pour autant prêt à emménager immédiatement.

Que penser des nombreux articles publiés sur l'évolution de la cosmologie contemporaine ? La recherche est un champ d'activités complexe et foisonnant, et même les spécialistes ont parfois des difficultés à avoir une vue d'ensemble. Dans ces conditions, comment peut-on trier le bon grain de l'ivraie ? On doit surtout se donner la peine de prendre connaissance des différents courants de pensée, ne pas se limiter à une seule opinion. Quand un résultat semble intéressant et qu'il est reproduit par plusieurs équipes, il commence à être

crédible surtout si les voies de sa démonstration diffèrent.

Avec le temps, l'inflation, la quintessence et les autres concepts débattus aujourd'hui seront soit intégrés dans l'édifice central de la cosmologie, soit abandonnés et remplacés par d'autres, mieux adaptés. En un sens, nous autres cosmologistes travaillons à supprimer notre propre emploi : nous serons au chômage quand la théorie de l'Univers aura été validée. Heureusement, l'Univers est... complexe, et nous ne sommes pas prêts de manquer de sujets de réflexion. Le désordre qui envahit la cosmologie n'est rien d'autre que l'agitation fertile qui règne sur tous les chantiers de construction.

James PEEBLES, professeur émérite à l'Université de Princeton, fut l'un des pionniers de l'étude du fond diffus cosmologique.

Alain BLANCHARD, *Histoire et géographie de l'Univers*, Belin-CNRS éditions, 2000.

James PEEBLES, David SCHRAMM, Edwin TURNER et Richard KRON, *L'évo-*

lution de l'Univers, in *Pour la Science*, décembre 1994.

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

Mario LIVIO et Alan SANDAGE, *The Accelerating Universe : Infinite Expansion, The Cosmological Constant, and the Beauty of the Cosmos*, John Wiley & Sons, 2000.