

L'ESSENTIEL

✓ D'après de nombreux cosmologistes, il existerait, au-delà de l'horizon de notre univers observable, un nombre immense d'autres Univers, chacun doté de ses propres lois physiques. L'ensemble de ces univers constitue le « multivers ».

✓ Cependant, selon George Ellis, aucune observation astronomique ne pourra jamais mettre en évidence ces autres univers.

✓ Les arguments en faveur du multivers sont au mieux indirects. Et même s'il existe, des questions profondes restent sans réponse.

Levi Brown

et Neil Turok. Ou encore exister en parallèle, en tant que d'autres réalisations des états quantiques de l'Univers, comme le soutiennent David Deutsch et Michael Lockwood. Ces univers pourraient aussi être complètement déconnectés de notre espace-temps, comme l'ont suggéré M. Tegmark et Dennis Sciama.

Parmi tous ces scénarios, celui qui est le plus largement accepté est l'inflation éternelle. C'est donc sur ce dernier que je vais me focaliser. Cependant, la plupart de mes remarques s'appliquent aussi aux autres propositions. L'idée du scénario inflationnaire est que l'espace est un vide en perpétuelle expansion, au sein duquel les fluctuations quantiques font en permanence se dilater en accéléré de nouvelles régions, donnant ainsi naissance à des chapelets d'univers, comme des bulles dans un bain moussant.

Le concept d'inflation remonte aux années 1980 et a été revisité depuis dans le cadre de la théorie des cordes, la théorie des interactions fondamentales la plus prometteuse à ce jour. Ce cadre autorise des univers-bulles très différents les uns des autres. En effet, chacun commence son existence non seulement avec une distribution aléatoire de matière, mais aussi avec un jeu aléatoire de particules et de lois physiques. Notre Univers contient par exemple des électrons et des photons interagissant par le biais de la force électromagnétique; d'autres univers pourraient avoir d'autres types de particules et de forces, ce qui signifie différentes lois physiques. L'ensemble complet de lois locales autorisées est ce qu'on appelle le paysage. Dans certaines interprétations de la théorie des cordes, le paysage est immense, ce qui autorise une prodigieuse variété d'univers.

De nombreux physiciens qui s'intéressent au multivers, en particulier les partisans du paysage de la théorie des cordes, ne prêtent pas vraiment d'attention aux univers parallèles en eux-mêmes. Pour eux, les objections au concept de multivers n'ont pas d'importance. Leurs théories survivent ou meurent sur la base de leur cohérence interne et, *in fine*, il faut l'espérer, de leur vérification expérimentale. Le multivers est un cadre donné pour leurs théories, et son origine importe peu : c'est le problème des cosmologistes.

Pour un cosmologiste, le problème de base du concept de multivers est l'existence de l'horizon cosmologique. Par définition, les signaux émis au-delà de l'horizon n'ont pas eu le temps de se pro-

pager jusqu'à nous depuis le début de l'Univers. Tous les univers parallèles sont situés au-delà de l'horizon et y resteront quels que soient les progrès techniques. Ils sont trop éloignés pour avoir eu une quelconque influence sur notre Univers. Ainsi, aucune des affirmations concernant le multivers ne peut être prouvée de façon directe.

Les partisans du multivers prétendent pouvoir dire de façon approximative ce qui se passe au-delà de notre horizon cosmique, ou même à une distance infinie, à partir des seules données que nous observons de notre côté de l'horizon. C'est une extrapolation audacieuse ! Peut-être l'Univers se referme-t-il sur lui-même à très grande échelle, et qu'il n'est pas infini. Peut-être que la matière s'arrête quelque part, et qu'il n'y a plus que de l'espace vide au-delà. Peut-être que l'espace et le temps prennent fin au niveau d'une singularité qui délimite l'Univers. Nous ignorons tout simplement ce qui se passe au-delà de l'horizon, car nous n'avons pas d'information sur ces régions et nous n'en aurons jamais.

Sept arguments discutables

La plupart des partisans du multivers sont conscients du problème, mais pensent que nous pouvons néanmoins émettre des hypothèses sur ce qui se passe au-delà de l'horizon. Leurs arguments se regroupent en sept grandes catégories. Examinons-les une par une.

Premier argument : l'espace n'a pas de fin. Tout le monde ou presque admet que l'espace s'étend au-delà de l'horizon cosmique. Si ce type limité de multivers existe, nous pouvons extrapoler ce que nous voyons aux régions situées au-delà de l'horizon, avec une incertitude d'autant plus grande que la région est éloignée. Il est alors facile d'imaginer des variations plus élaborées, telles des lois physiques alternatives ayant cours là où il ne nous est pas donné d'observer. Le problème avec ce type d'extrapolation est que personne ne peut prouver que l'on a tort. Comment les scientifiques peuvent-ils décider si leur tableau d'une région non observable de l'espace-temps est une extrapolation légitime ou irréaliste de ce que nous voyons ? D'autres univers peuvent-ils avoir une distribution initiale de matière différente, ou bien des valeurs différentes des constantes physiques fondamentales ? On peut

QU'Y A-T-IL AU-DELÀ ?

L'Univers observable est une boule d'environ 42 milliards d'années-lumière de rayon centrée sur la Terre. Sa frontière, notre horizon cosmique, correspond à la distance que la lumière a pu parcourir depuis le Big Bang, il y a 13,7 milliards d'années, distance à laquelle s'ajoute l'expansion du cosmos durant cette période. En supposant que l'espace s'étend au-delà de cet horizon cosmique, à quoi ressemble-t-il alors ?

MULTIVERS DE NIVEAU 1 : PLAUSIBLE

L'hypothèse la plus simple est que notre volume d'espace est un échantillon représentatif du reste. Des observateurs distants voient des volumes centrés sur des points différents, mais équivalents, hormis peut-être en ce qui concerne la distribution de matière.

L'ensemble de ces régions forment le multivers basique.

MULTIVERS DE NIVEAU 2 : DISCUTABLE

De nombreux cosmologistes imaginent qu'assez loin, le cosmos est très différent de notre Univers observable.

Celui-ci serait une bulle-univers parmi de nombreuses autres, flottant toutes dans un espace vide par ailleurs.

Les lois de la physique seraient différentes d'une bulle à l'autre, ce qui donnerait lieu à une variété presque inconcevable d'univers. Ces autres bulles d'univers seraient impossibles à observer, même en principe.



avoir l'un comme l'autre, selon les hypothèses que l'on fait.

Deuxième argument : les théories physiques actuelles prédisent l'existence d'autres univers. Les théories proposées pour unifier les interactions font intervenir des champs scalaires, parents hypothétiques d'autres champs tels que le champ magnétique. Ces champs seraient à l'origine de l'inflation cosmique et créeraient des bulles-univers à l'infini. Ces scénarios sont solides d'un point de vue théorique, mais la nature précise des champs hypothétiques n'est pas connue, et aucune expérience n'a encore démontré leur existence et encore moins permis de mesurer leurs propriétés supposées. Autre point crucial, il n'est pas établi que le comportement de ces champs entraîne des lois physiques différentes dans les univers-bulles distincts.

Troisième argument : la théorie de l'inflation, qui prédit une infinité d'univers, a passé avec succès le test observationnel du rayonnement du fond diffus cosmologique. Celui-ci révèle en effet à quoi ressemblerait notre Univers à la fin de sa phase d'expansion initiale. Les motifs du fond diffus suggèrent que notre Univers a réellement connu une période d'expansion accélérée. Mais tous les types d'inflation ne durent pas éternellement

en créant une infinité d'univers-bulles. Les observations ne permettent pas de distinguer le type d'inflation requis des autres. Certains cosmologistes, comme P. Steinhardt, pensent même que l'inflation éternelle aurait conduit à des motifs de fond diffus différents de ceux observés. A. Linde et d'autres ne sont pas d'accord. Qui a raison ? Tout dépend des hypothèses faites sur la nature du champ responsable de l'inflation.

Des hypothèses impossibles à vérifier

Quatrième argument : les constantes fondamentales sont ajustées précisément pour que la vie soit possible. Un des aspects remarquables de notre Univers est que les constantes physiques y ont juste les bonnes valeurs pour permettre l'émergence de structures complexes, et donc de la vie. Steven Weinberg, Martin Rees, Leonard Susskind et d'autres soutiennent que l'existence d'un multivers de niveau 2 apporte une explication élégante à cette coïncidence : si toutes les valeurs possibles des constantes sont réalisées dans un ensemble suffisamment grand d'univers, alors il y en a sûrement quelques-uns qui peuvent héberger la vie. Ce raisonnement a été invoqué

notamment pour expliquer la densité d'énergie sombre, responsable de l'accélération de l'expansion cosmique.

Le multivers est certes une solution plausible pour expliquer cette densité. C'est peut-être même la seule piste dont nous disposons aujourd'hui. Cependant, nous n'avons aucun espoir de la valider un jour par l'observation. En outre, la plupart des raisonnements supposent que les équations de base de la physique restent valables partout, et que seules les constantes changent. Or si l'on considère le multivers dans son sens le plus général, ce n'est pas nécessairement le cas.

Cinquième argument : les constantes fondamentales concordent avec les prédictions des théories de multivers. Cet argument affine les précédents en suggérant que l'Univers n'est pas plus ajusté pour la vie que ce qui est strictement nécessaire. Les tenants de cette idée ont évalué les probabilités de diverses valeurs de la densité d'énergie sombre (voir l'encadré page 54). Plus cette valeur est élevée, plus elle est probable, mais plus l'univers résultant est hostile à la vie. La densité que nous observons devrait être juste à la limite du domaine de valeurs compatibles avec la vie, et il semble que ce soit le cas. Cet argument probabiliste