

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.

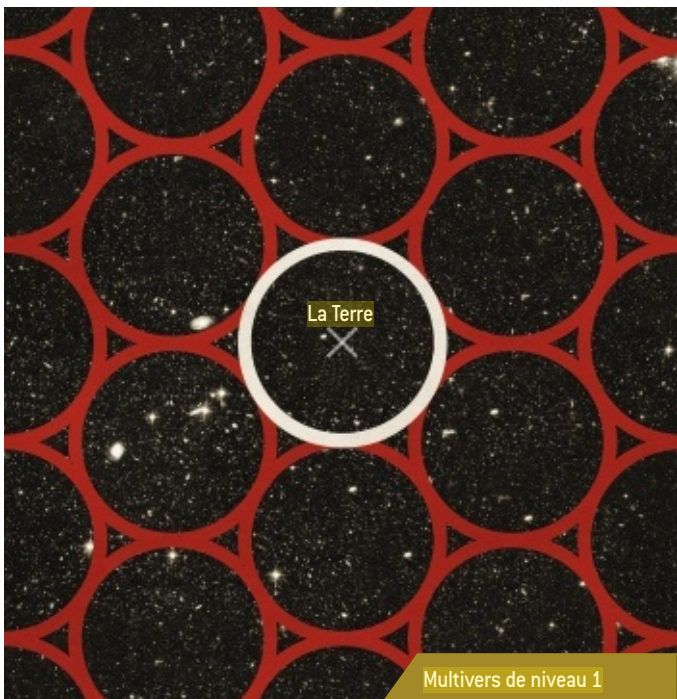
Des hypothèses impossibles à vérifier

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

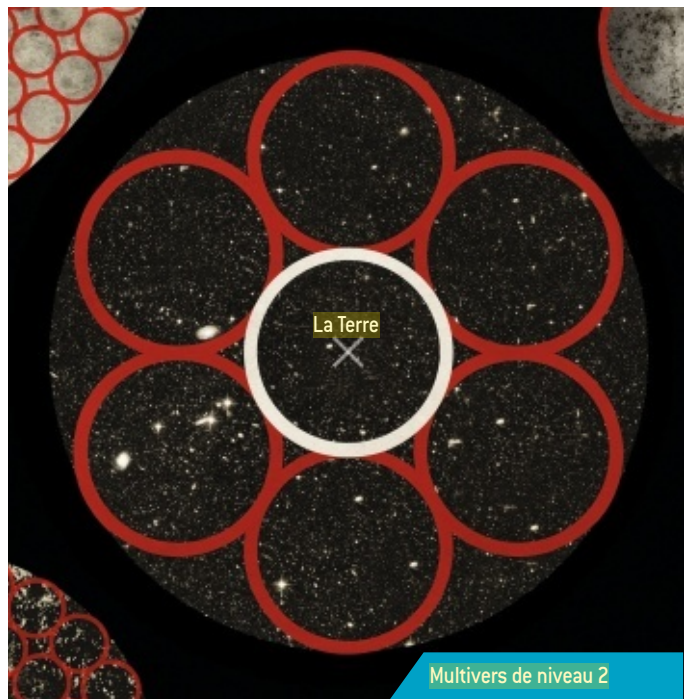
notamment pour expliquer la densité d'énergie sombre, responsable de l'accélération de l'expansion cosmique.

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



Multivers de niveau 1



Multivers de niveau 2

achoppe cependant sur le fait qu'il est nécessaire que le multivers existe pour calculer ce type de probabilité. Il est inapplicable s'il n'existe qu'un seul univers. En d'autres termes, on suppose *a priori* le résultat que l'on veut prouver. Ainsi, les probabilités sont un test de la cohérence du concept de multivers, mais pas une preuve de son existence.

Sixième argument : la théorie des cordes conduit à une grande diversité d'univers. La théorie des cordes, à l'origine censée être une théorie qui explique toute la physique connue, est devenue une théorie où presque tout est possible. Dans sa forme actuelle, elle prédit que de nombreuses propriétés essentielles de notre Univers sont de purs hasards. Si l'Univers est unique, ces propriétés sont difficilement explicables. Pourquoi les lois de la physique présentent-elles précisément ces propriétés qui permettent à la vie d'exister ? En revanche, si notre Univers n'est qu'un parmi d'autres, ces propriétés s'expliquent naturellement. Elles ne sont pas privilégiées ; ce sont simplement celles qui ont émergé dans notre région de l'Univers. Dans une autre région, si tant est que nous ayons pu y apparaître (la plupart sont inhabitables), nous aurions observé des propriétés différentes.

Cependant, la théorie des cordes n'est pas une théorie éprouvée. Ce n'est même pas une théorie complète. Si nous avions la preuve que la théorie des cordes est correcte, ses prédictions théoriques validées par l'expérience pourraient légitimement être utilisées pour étayer l'existence d'un multivers. Mais cette preuve fait défaut.

Septième argument : tout ce qui peut arriver arrive. En cherchant à expliquer pourquoi la nature obéit à certaines lois et pas à d'autres, certains physiciens ont imaginé que la nature n'avait en fait jamais fait un tel choix : toutes les lois concevables s'appliquent quelque part. L'idée est inspirée en partie de la mécanique quantique qui, comme Murray Gell-Mann l'a exprimé avec humour, veut que tout ce qui n'est pas interdit est obligatoire. Une particule emprunte tous les chemins possibles, et ce que nous voyons est la moyenne pondérée de toutes ces possibilités. Peut-être en va-t-il de même pour l'Univers entier : il existerait alors une superposition de tous les univers possibles, c'est-à-dire un multivers. Mais là encore, nous n'avons pas la moindre chance d'observer ces multiples réalisations. Pire, nous ne pouvons même pas savoir quelles sont les possibilités. Il manque un principe d'organisation

L'AUTEUR



George ELLIS, cosmologiste, est professeur émérite à l'Université du Cap, en Afrique du Sud.