

# AUJOURD'HUI

## SCIENCES

Grâce à l'étude du rayonnement fossile, photographie des **PREMIERS ÂGES DE L'UNIVERS**, les astrophysiciens se font une idée de plus en plus précise de la composition, de la densité mais aussi de la **FORME**

**DU COSMOS**. A la lecture des premiers résultats du satellite américain WMAP, des cosmologistes estiment que l'Univers pourrait **NE PAS ÊTRE INFINI**, contrairement à ce qui est généralement admis. Selon

certaines modèles, l'Univers réel pourrait même être plus petit que l'Univers observable, mais des particularités de sa topologie donneraient l'illusion de l'infini. Si ces **IMAGES FANTÔMES** existent, il devrait être possible

de les détecter bientôt. Ces avancées confirment que la cosmologie observationnelle, à laquelle sont consacrées les Rencontres d'astrophysique de Blois jusqu'au 20 juin, a quitté l'ère des balbutiements.

## De nouvelles mesures relancent le débat sur la forme de l'Univers

Les premiers résultats du satellite WMAP pourraient remettre en question le modèle standard d'un cosmos infini. Les astrophysiciens « dissidents » se fondent sur ces éléments pour conforter leur théorie d'une topologie finie dans laquelle un voyageur revient à son point de départ

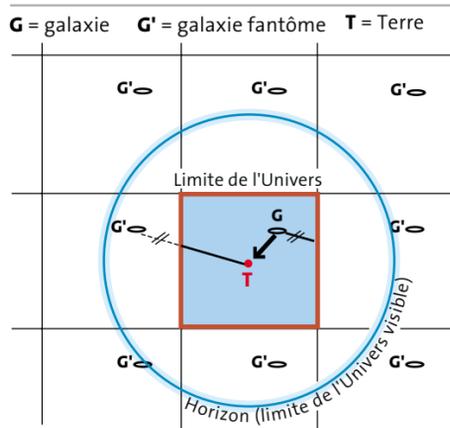
PLUS que toute autre branche de l'astronomie, la cosmologie est un art. L'art de jongler avec des myriades, de manipuler les concepts les plus abstraits et de poser les questions les plus déconcertantes. Une des interrogations qui revient en force en cette année 2003 est la suivante : quelle forme a l'Univers ? En a-t-il seulement une ?

Le sujet prête à controverse et cela ne date pas d'hier. « Dans la Grèce antique se posait déjà la question d'attribuer une forme au réceptacle que peut être l'espace, rappelle Jean-Pierre Luminet, directeur de recherche au Laboratoire Univers et théories (LUTH, CNRS-Observatoire de Paris-Meudon-université Paris-VII). Les platoniciens considéraient que l'Univers était clos, fini, délimité par un emboîtement de sphères centrées sur la Terre, la sphère ultime portant les étoiles. Les atomistes comme Démocrite et Epicure avaient une conception radicalement opposée : pour eux le monde était constitué d'un nombre infini d'atomes et par conséquent de corps célestes, baignant dans un vide infini. »

Ces hypothèses ne s'appuyaient sur aucune mathématique. Mais, plus de deux millénaires après, par un malicieux caprice de la science, les équations de la relativité générale autorisent les deux solutions, Univers fini ou infini. Toutefois, ces dernières décennies, un modèle standard de la cosmologie s'est imposé suite à la théorie de l'inflation selon laquelle, tout juste après le Big Bang, l'Univers primordial aurait connu une phase d'expansion aussi brève que considérable. L'inflation a pour corollaire un Univers infini et « plat ». Cette traduction du flat anglo-saxon n'implique évidemment pas que le cosmos est plat comme une limande mais que l'espace-temps n'est pas courbé et que s'y applique la géométrie euclidienne apprise à l'école. En bref qu'un vaisseau intergalactique partant de notre planète et voyageant toujours dans la même direction s'éloignerait indéfiniment de la Terre.

On le comprend aisément, dans un tel Univers infini, se poser la question de la forme ne se justifie plus. Cet article s'arrêtera donc ici sans quelques équipes de cosmologistes récusant le dogme du

### TROIS HYPOTHÈSES POUR TROIS UNIVERS DIFFÉRENTS



**Hypothèse 1**  
L'Univers est fini et plus petit que l'Univers visible

On suppose, pour simplifier, que l'Univers est un carré dont les bords sont collés deux à deux : ce qui sort par le bas rentre par le haut et vice versa. Idem avec les bords droit et gauche. La lumière de la galaxie G est émise dans toutes les directions. De la Terre on reçoit donc une image directe, mais aussi des images fantômes, car, dans un tel Univers, il existe une infinité de chemins pour aller d'un point à un autre. Cependant, l'observateur ne peut voir que les fantômes qui se situent dans son horizon.

modèle standard et rappelant notamment que, bien avant la deuxième guerre mondiale, les pères du Big Bang, le Russe Alexandre Friedmann et le Belge

### Dire que l'Univers est fini n'implique pas qu'il ait un bord

Georges Lemaître avaient choisi un Univers « sphérique », c'est-à-dire un Univers fini dont l'espace-temps est courbé. En France, Jean-Pierre Luminet est un de ces frondeurs, avec ses collègues Jean-Philippe Uzan (université d'Orsay-Institut d'astrophysique de Paris), Roland Lehoucq et Alain Riazuelo (Commissariat à l'énergie atomique), épaulés par le mathématicien américain Jeffrey Weeks.

Dire que l'Univers est fini n'implique pas qu'il ait un bord (car, dans ce cas, on est en droit de se demander ce qu'il y a au-delà). Si

l'on considère un explorateur situé au pôle Nord et filant plein sud, au bout de 20 000 kilomètres de cette trajectoire rectiligne, il atteindra le pôle Sud puis, continuant tout droit, finira par revenir vers son point de départ. Si l'on ajoute une troisième dimension et que l'on introduit un vaisseau intergalactique dans cet Univers sphérique, il finira, de même, par revenir sur Terre s'il voyage toujours dans la même direction.

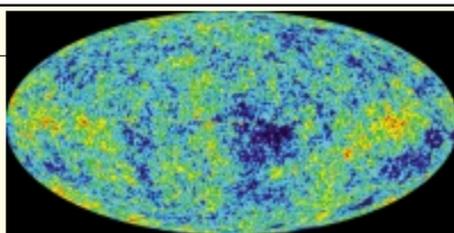
Sur le plan cosmologique, prétendre que l'Univers a une courbure positive équivaut à dire que sa densité de matière et d'énergie – il s'agit en fait de la même chose, comme l'explique la célèbre formule  $e = mc^2$  –, appelée oméga ( $\Omega$ ), dépasse un seuil critique de 1. Si  $\Omega$  est égal à 1, la courbure est nulle et l'espace euclidien. Tout le but du jeu consiste donc à peser l'Univers pour déterminer  $\Omega$ ...

Mais, en l'absence de balance adéquate, comment faire ? Heureusement, les astrophysiciens disposent d'un merveilleux instrument de mesure indirect grâce au rayonnement fossile, cette relique d'un événement spectaculaire

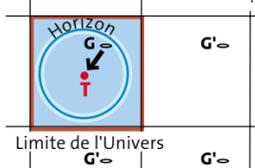
### LE RAYONNEMENT FOSSILE TEL QUE L'A ENREGISTRÉ LE SATELLITE AMÉRICAIN WMAP

Les différentes couleurs correspondent à d'infimes fluctuations de température et aux inhomogénéités de l'Univers primordial. De ce tableau, les chercheurs extraient de précieuses informations cosmologiques comme la densité, la composition et la courbure de l'Univers.

Image : WMAP/NASA

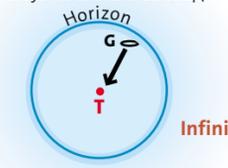


D'après L'Univers a-t-il une forme de Roland Lehoucq (Flammarion).



**Hypothèse 2**  
L'Univers est fini, mais plus grand que l'Univers visible

Dans ce cas précis, les images fantômes existent toujours en théorie, mais elles se trouvent toutes en dehors de l'Univers observable.



**Hypothèse 3**  
L'Univers est infini

Il s'agit ici de l'Univers standard tel que la majorité des astronomes le conçoivent, infini et donc sans forme. Il n'y a qu'un chemin en ligne droite entre deux points et, par conséquent, aucune image fantôme. Pour l'observateur, il ne se différencie pas du cas 2.

survenu 380 000 ans après le Big Bang. A cette époque, le jeune Univers s'est suffisamment refroidi pour que les électrons, moins excités, commencent à s'associer aux noyaux atomiques. Ce faisant, ils laissent passer la lumière. D'opaque, le cosmos devient subitement transparent et, du même coup, éblouissant.

Le rayonnement fossile se capte dans le domaine des micro-ondes, tâche du satellite WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy

Probe, NASA - université de Princeton). Des minuscules fluctuations de température de ce fond de ciel, les scientifiques peuvent extraire de multiples informations telles que la densité d'énergie de l'Univers. Au cours des précédentes mesures, moins précises que celles du WMAP,  $\Omega$  se trouvait dans une frange plus ou moins centrée autour de 1. Aucun problème pour le modèle standard, donc.

Mais, en février, la publication

### La mystérieuse énergie noire

Les mesures du satellite WMAP, lancé le 30 juin 2001, ont précisé un certain nombre de données cosmologiques, à commencer par l'âge de l'Univers (13,7 milliards d'années) et sa composition. Celle-ci a de quoi laisser perplexe. On apprend en effet que 73 % du cosmos est composé non pas de matière mais d'une mystérieuse énergie noire de nature inconnue.

Agissant à l'inverse de la gravité, elle est l'acteur principal de l'expansion accélérée de l'Univers, dont les chercheurs ont la preuve depuis quelques années. Les 27 % restants sont donc réservés à la matière ou plutôt aux différentes formes de matière. Car il existe aussi une matière noire, peut-être faite de particules massives mais indétectables pour le moment, qui représenteraient 23 % de la masse totale de l'Univers. La matière que nous connaissons, celle qui constitue les atomes, les étoiles et les galaxies, ne compte que pour 4 % du Grand Tout... Et encore n'en voit-on qu'un dixième. Au final, 99 % de l'Univers nous est invisible, inconnu...

## La preuve par les images fantômes des galaxies

Si l'Univers est fini et assez « petit », les astronomes ont une chance de trouver la signature de sa forme dans le cosmos

ET SI l'Univers était vraiment fini, pourrions-nous le voir, trouver la preuve de cette finitude ? De deux choses l'une : ou bien il est plus grand que l'Univers observé et, dans ce cas, rien ne nous dira quelle forme il présente ; ou bien il est plus petit et, alors, les astronomes ont une chance de trouver une signature de la forme dans le cosmos que nous voyons. Tout de suite, une question intrigue l'esprit : comment l'Univers peut-il être plus petit que l'espace que nous observons ?

### ESPACE MULTICONNEXE

Face à une telle question, l'un des tout premiers jeux vidéo se révèle instructif. Il mettait en scène un vaisseau spatial chargé de désintégrer toutes sortes d'ennemis. Lorsque cet engin atteignait le bord supérieur de l'écran, il disparaissait et ressortait en bas. Le même phénomène se produisait avec les bords droit et gauche. Le joueur disposait donc d'une multitude de possibilités pour se déplacer d'un point à un autre en ligne droite. Les cosmologistes qualifient ce type d'espace de multiconnexe.

Si l'on place maintenant sur l'écran un observateur et, à quelque distance, une galaxie, la lumière de celle-ci va se diffuser dans toutes les

directions. L'observateur va donc voir l'image directe de la galaxie... mais aussi de multiples images fantômes, qui auront suivi des chemins plus longs en « traversant » les bords de l'écran. Cet espace se comporte en fait comme une pièce dont les murs seraient tapissés de miroirs. Ainsi, alors même que son volume est fini, elle donne l'illusion de s'étendre à l'infini.

Le recours à un espace multiconnexe, que rien n'exclut, explique donc comment l'Univers observable peut s'avérer plus grand que l'Univers réel, tout en ayant une courbure nulle. Il n'est donc pas forcément nécessaire d'avoir recours à une courbure positive pour obtenir un Univers fini... Celui-ci pourrait s'apparenter à un polyèdre dont les faces opposées seraient en quelque sorte « collées » deux à deux, tout comme les bords de l'écran vidéo

mentionné plus haut étaient reliés entre eux par paires : haut-bas, droite-gauche.

Si l'on suppose que l'Univers est multiconnexe, il devient possible de détecter les images fantômes des galaxies. Pas question d'espérer faire de la reconnaissance de forme pour les identifier. En effet, si elles existent, les images fantômes des galaxies arrivent selon des angles différents, après des temps de voyage inégaux. Autant essayer de reconnaître une personne avec des photos qui ont été prises de dos, du dessus, de profil ou en contre-plongée et, de plus, à différentes époques de sa vie...

En 1996, Jean-Pierre Luminet et ses collègues, Marc Lachièze-Rey et Roland Lehoucq, ont donc proposé une autre méthode, statistique celle-là, un « test de cristallographie cosmique ». Il consiste à analyser les cata-

logues de distribution apparente des objets lointains, à mesurer l'espace séparant toutes les paires possibles d'objets et à tracer le résultat. Si l'espace est conforme au modèle standard, on obtiendra une courbe en cloche classique.

### RAYONNEMENT FOSSILE

Si, en revanche, l'espace est « à miroirs », la courbe présentera des pics nets car ce type d'Univers oblige les fantômes à n'être séparés que par des valeurs bien précises, définies par la taille du polyèdre fondamental. « Pour l'heure, reconnaît Jean-Pierre Luminet, nous n'avons rien trouvé mais il faut préciser que, par rapport à l'espace que nous voulons sonder, les catalogues disponibles sont ridicules, pas assez profonds et ne couvrent pas assez de régions du ciel. » De plus, le traitement statistique des sources doit tenir compte de biais observationnels horriblement complexes à corriger.

Une autre approche, mise au point à la même époque par les Américains David Spergel, Neil Cornish et Glenn Starkman, pourrait se révéler payante plus vite : la méthode dite des paires de cercles. Elle part du principe que si l'Univers réel est plus petit que l'Univers observable, l'image du rayonnement fossile se recoupe elle-même et il devient possible d'y détecter

des paires de cercles antipodaux le long desquels se répètent les mêmes fluctuations de température, les mêmes « grumeaux » de la soupe primordiale.

Tout le problème est que l'on ignore tant l'emplacement que le diamètre de ces éventuels ronds. Faire tracer tous les cercles possibles par des ordinateurs dotés de logiciels de reconnaissance de forme risque de prendre quelques millions d'années. Les chercheurs développent donc des méthodes astucieuses pour réduire les paramètres libres et le temps de traitement des données.

Mais, là aussi, se pose un problème, explique Simon Prunet : « Les mesures disponibles aujourd'hui, celles de WMAP, sont assez « bruitées » et les détecteurs ont une résolution angulaire finie : les cercles seront flous et incomplets. »

Il faudra donc peut-être attendre le lancement, en 2007, du satellite européen Planck qui effectuera la cartographie « ultime » du rayonnement fossile, avec une sensibilité cent fois plus fine et une résolution angulaire deux à trois fois meilleure que celles de WMAP. Ainsi, les suppositions sur la forme de l'Univers risquent de rester en suspens pendant encore quelques années.

P. B.

des premiers résultats de WMAP a redonné espoir aux adeptes d'un Univers plus exotique. On y lisait que  $\Omega$  était compris entre 1 et 1,04. La valeur de 1, synonyme d'Univers euclidien, figurait bien dans la fourchette mais à la marge... Pour Simon Prunet, chercheur à l'Institut d'astrophysique de Paris (IAP) et spécialiste du rayonnement fossile, « il n'y a pas là de motivation pour aller chercher d'autres modèles que la topologie triviale ».

Jean-Pierre Luminet et ses collègues réfractaires sont d'autant moins d'accord qu'une autre mesure de WMAP a porté un second coup au modèle standard. Les fluctuations du rayonnement fossile résultent des vibrations acoustiques qui ont traversé le plasma primordial. Les chercheurs peuvent donc reconstituer la « musique » des débuts de l'Univers.

Et ils ont enregistré un déficit dans les plus grandes longueurs d'onde par rapport à ce que prévoyait la théorie, comme si les notes les plus graves du cosmos manquaient à l'appel. Pourquoi ? Peut-être, répondent les cosmologistes, parce que l'Univers n'est pas assez vaste pour être en mesure de les jouer, à l'instar d'une corde de guitare qui ne peut émettre de son plus grave que ne permettent sa longueur et son diamètre.

Simon Prunet reste prudent sur la signification de ce déficit, soulignant qu'il concerne des longueurs d'onde si importantes que les statistiques les concernant sont forcément limitées, voire mauvaises. Le chercheur de l'IAP note également que la détection de ces ondes est la plus délicate, la plus susceptible d'être contaminée par les émissions de notre Galaxie. « Toutefois, ajoute-t-il, si je me fais l'avocat du diable, si cet effet est avéré, il n'y a qu'un infime pourcentage de chance de l'obtenir dans un Univers standard... »

Si les données de WMAP sont justes, elles marqueront peut-être la revanche des partisans des Univers aux formes exotiques et aux propriétés aussi étranges que fascinantes. Le glas sonnerait également pour le dogme de l'inflation, qui prévoit un Univers extraordinairement grand. « Si on montre un jour que l'Univers est fini, il faudra tout recommencer, confirme Simon Prunet. J'imagine qu'en ce moment une bonne partie des théoriciens de l'inflation doivent chercher à concevoir des modèles qui mènent à un Univers fini. » Si l'on parvient un jour prochain à déterminer la forme du cosmos, une autre question se posera : pourquoi l'Univers a-t-il « choisi » cette forme ?

Pierre Barthélémy

Cette console devient une table pour 8 à 10 personnes

Venez découvrir une gamme de consoles extensibles livrées avec 3 ou 4 allonges dans de nombreuses finitions

**A PARTIR DE 1175 €**

**ESPACE TOPPER**

63, rue de la Convention  
PARIS 15<sup>e</sup> ☎ 01.45.77.80.40  
37, rue du Commerce  
PARIS 15<sup>e</sup> ☎ 01.45.75.29.98  
56/60, Cours de Vincennes  
PARIS 12<sup>e</sup> ☎ 01.43.41.80.93