

**ONDES GRAVITATIONNELLES** Oscillations de la trame de l'espace-temps qui compriment et étirent l'espace. Elles sont produites par des phénomènes extrêmement énergétiques comme la fusion de trous noirs ou, supposément, juste après le Big Bang.

**FOND DIFFUS COSMOLOGIQUE** 380 000 ans après sa naissance, l'Univers s'est suffisamment refroidi pour que les noyaux atomiques et les électrons se combinent. La lumière n'était alors plus piégée par ces derniers et a pu se propager librement.

**BOLOMÈTRE** Détecteur de rayonnements qui convertit leur énergie en chaleur, mesurée elle-même par un thermomètre.

## Le Big Bang sous l'œil d'un télescope inédit

Le télescope QUBIC, assemblé en France et qui vient d'être transféré en Argentine, va tenter de percevoir les traces de l'expansion de l'Univers juste après sa naissance.

Par Franck Daninos [@f\\_Daninos](#)

**D**ix milliardièmes de milliardième de milliardième de seconde après le Big Bang... Soit l'Univers juste après sa naissance, bien avant la formation des galaxies, des premières étoiles et même de la matière telle qu'on l'observe aujourd'hui. Les débuts du temps autrement dit! C'est à cette époque extrêmement reculée, 13,8 milliards d'années en arrière, qu'une centaine de scientifiques français, italiens, irlandais, anglais et argentins estiment pouvoir bientôt accéder. Ils ont construit pour cela un télescope unique en son genre baptisé « QUBIC » (Q&U Bolometric Interferometer for Cosmology). Assemblé entre 2018 et 2020 au laboratoire Astroparticules et cosmologie (APC) de l'université de Paris, il a été transféré en juillet à



La dilatation accélérée de l'Univers, juste près le Big Bang (vue d'artiste), a dû générer des ondes gravitationnelles.

Salta, en Argentine. Le télescope y subit actuellement une série de vérifications et de tests. Puis au mois de novembre, si tout se passe comme prévu, il sera acheminé vers sa destination finale : San Antonio de los Cobres, en pleine cordillère des Andes à près de 5000 mètres d'altitude. « Les

observations du ciel débiteront en décembre ou janvier prochains, trépigne Jean-Christophe Hamilton, cosmologiste au laboratoire APC et porte-parole de la collaboration. Grâce à ce télescope, nous espérons détecter les traces de la fulgurante expansion qu'aurait connue l'Univers dans sa toute petite enfance. Avec sans doute, à la clé, des découvertes révolutionnaires pour la physique des particules et la cosmologie. »

### Une hypothèse étayée par les observations

L'existence de cette dilatation initiale — appelé aussi « inflation » — n'est certes qu'une supposition théorique mais elle est soutenue par une majorité de chercheurs. « Elle est étayée par de nombreuses observations et a été proposée il y a près de quarante ans pour résoudre deux types de problèmes », rappelle Vincent Vennin, physicien théoricien au laboratoire APC. Le premier concerne le contenu de l'Univers. Celui-ci apparaît identique dans toutes les directions, arborant à grande échelle les mêmes ▶



### « À la clé, sans doute des découvertes révolutionnaires pour la physique des particules et la cosmologie »

Jean-Christophe Hamilton, cosmologiste au laboratoire Astroparticules et cosmologie (APC) de l'université de Paris



Le télescope pèse 850 kilos et sa monture, 1,5 tonne. En forme de baril, il mesure 1,5 mètre de haut pour 1,4 mètre de diamètre.

### UNE ANALYSE FINE DU FAISCEAU LUMINEUX

**1** La lumière passe d'abord par des systèmes optiques (filtres et polariseurs).

**2** Elle traverse des cornets (400 structures en forme de sablier) qui guident les rayonnements lumineux.

**3** Les faisceaux qui en sortent sont combinés ensuite par un jeu de miroirs.

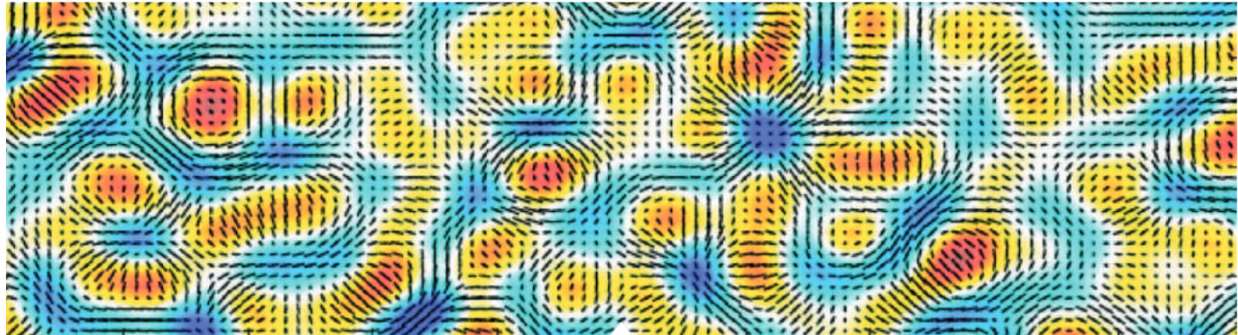
**4** Ils sont captés par des bolomètres, détecteurs de lumière refroidis à une température proche du zéro absolu (0,3 kelvin).

## Les secrets du télescope QUBIC

Développé en France et testé actuellement dans le nord-ouest de l'Argentine, le télescope QUBIC est fondé sur un nouveau concept instrumental : l'interférométrie bolométrique. Il cherchera, à compter de 2022, à identifier les traces de la gigantesque expansion qu'aurait connue l'Univers une fraction de seconde après le Big Bang.

## LUMIÈRE FOSSILE

## L'empreinte du fond diffus cosmologique



M. KAMONKOWSKI, E. KOVETZ

Les motifs en tourbillons ou ailes de moulin formés par les traits seraient la signature des ondes gravitationnelles produites après le Big Bang.

Les ondes gravitationnelles produites juste après le Big Bang auraient laissé une signature dans le fond diffus cosmologique, première

lumière à s'être propagée dans le cosmos. Elles auraient modifié, en effet, l'orientation du champ électrique de cette lumière fossile, produisant un

type de motifs (appelé « mode B de polarisation ») dans les cartes du fond diffus cosmologique. Selon les prédictions théoriques, ces

motifs sont constitués de petits traits sombres et successifs évoquant des tourbillons ou des ailes de moulin.

► densités de matière et d'énergie. Or certaines galaxies sont séparées par plus de 25 milliards d'années-lumière. « Ces régions, vu l'âge de l'Univers et son taux d'expansion actuel, n'auraient ainsi jamais été en contact; elles n'auraient pas eu le temps d'échanger de l'énergie et d'homogénéiser leurs caractéristiques », relève le chercheur. Comment expliquer, dès lors, une telle uniformité? Second problème: la platitude du cosmos, aucune observation n'ayant jamais détecté la moindre courbure. Or selon les équations de la relativité générale, cette dernière ne peut que croître avec le temps, produisant des géométries ouvertes (en « selle de cheval ») ou fermées (de type sphérique). Le cosmologiste américain Alan

Guth propose au début des années 1980 une solution. Il postule l'existence d'une phase d'expansion vertigineuse, juste après le Big Bang, qui aurait conservé la forme parfaitement plate de l'Univers primitif tout en homogénéisant celui-ci. Avant l'inflation, toutes ses régions étaient ainsi extrêmement proches les unes des autres, regroupées dans un petit volume où des interactions ont permis d'uniformiser leurs propriétés. Puis en une fraction de clin d'œil, « l'espace aurait gonflé d'un facteur considérable:  $10^{25}$  au minimum », indique Steve Torchin, radioastronome au laboratoire APC et membre de QUBIC. L'univers observable serait peut-être passé d'une taille de l'ordre de  $10^{-30}$  m (pour mémoire un noyau

d'hydrogène est beaucoup plus petit,  $10^{-15}$  m!) à un centimètre vers  $10^{-35}$  seconde après le Big Bang. L'expansion de l'Univers aurait retrouvé après coup un rythme plus tranquille, sa taille augmentant d'un facteur à peu près similaire dans les 13,8 milliards d'années qui suivront.

### Le boson de Higgs aurait pu provoquer l'inflation

Nous ne disposons cependant que de vagues indications sur la durée et le moment précis de l'inflation. « Seule certitude: elle se serait produite avant la formation des noyaux atomiques, soit quelques millièmes de seconde après le Big Bang », signale Vincent Vennin. Probablement autour de  $10^{-35}$  seconde, un peu plus ou un peu moins selon diverses spéculations. » La théorie ne dit absolument rien, par ailleurs, sur l'agent qui aurait provoqué l'inflation. Il pourrait s'agir du fameux boson de Higgs, dont l'existence a été confirmée en 2012 au LHC, accélérateur du Cern, près de Genève (Suisse). Ou bien



VINCENT VENNIN

« C'est comme si nous avions un accélérateur 10 000 fois plus puissant que le LHC! »

Vincent Vennin, physicien théoricien au laboratoire Astroparticules et cosmologie (APC) de l'université de Paris

d'une particule pour l'heure inconnue, nécessairement très énergétique et associée à une physique encore mystérieuse...

### Une nouvelle génération d'instruments de détection

La théorie de l'inflation implique néanmoins une prédiction qui permettrait, non seulement de l'éprouver de manière solide mais de répondre aussi à ces interrogations fondamentales. La dilatation hyperaccélérée de l'Univers devrait générer en effet des ondes gravitationnelles (*voir lexique*). Or ce frisson originel a dû laisser une marque dans la toute première lumière du cosmos — un flash que les physiciens appellent le fond diffus cosmologique, émis 380 000 ans après le Big Bang et qui baigne aujourd'hui encore tout l'espace.

De nombreuses expériences cherchent ainsi, depuis une trentaine d'années, à détecter cette empreinte (*lire l'encadré p. 36*). « Ses caractéristiques révéleraient à quel moment l'inflation s'est produite et nous renseigneraient sur le type de particules et de forces qui régissaient l'Univers dans sa prime jeunesse. C'est comme si nous pouvions les sonder avec un accélérateur dix mille milliards de fois plus puissant que le LHC », s'émerveille Vincent Vennin. Mais cette détection pose d'immenses défis. La lumière du fond diffus cosmologique est en effet extrêmement ténue, et l'empreinte laissée par ces ondes gravitationnelles primordiales un milliard de fois plus encore. Elle est masquée, par ailleurs, par d'autres rayonnements qui lui ressemblent comme deux gouttes d'eau : ceux émis par les poussières galactiques en particulier et qui, en 2014, avaient fait faussement croire à une équipe américaine qu'elle avait découvert le Graal (*lire l'encadré ci-dessus*).

## DÉTECTION

### L'écueil des poussières galactiques

**E**n 2014, les chercheurs américains exploitant le télescope BICEP2, installé au pôle Sud, annonçaient un résultat digne d'un prix Nobel. Ils auraient détecté le signal des ondes gravitationnelles primordiales, sorte d'« écho du Big Bang », « l'un des objectifs les plus importants en cosmologie », précisaient-ils alors. Mais l'annonce est démentie quelque mois plus tard. Les données enregistrées ne provenaient pas du fond des âges... mais des grains de poussières qui emplissent la Voie lactée ! Résidus d'anciennes étoiles, « elles s'alignent sur le champ magnétique



Le signal enregistré par le radiotélescope BICEP2 (à droite), situé au pôle Sud, s'est révélé provenir de résidus d'anciennes étoiles et non d'ondes gravitationnelles.

de la galaxie, forment des nuages allongés et émettent une lumière qui ressemble au signal engendré par les ondes gravitationnelles », explique Jean-Christophe Hamilton, porte-parole de l'expérience QUBIC. Et ce rayonnement « parasite » s'est révélé beaucoup plus

important que prévu ! Rebaptisé BICEP3, le télescope austral a été depuis perfectionné et poursuit cette traque. « L'équipe qui l'exploite reste la plus expérimentée en la matière : c'est notre concurrent le plus direct », confie Jean-Christophe Hamilton.

D'importants progrès ont été réalisés depuis. « Et une nouvelle génération de télescopes — au sol, embarqués sur des ballons ou lancés dans l'espace — arrive à maturité », observe Jean-Christophe Hamilton. Si bien que ces ondes gravitationnelles ont « d'excellentes chances d'être découvertes dans les toutes prochaines années », présume le chercheur. Dans cette course, QUBIC arrive certes quelque peu en retard. Et ne bénéficiera pas, du moins au début, de la même sensibilité que certains de ses concurrents, américains pour la plupart. Ce télescope de 2,7 t qui aura coûté 5 millions d'euros repose toutefois sur une approche inédite et originale qui pourrait faire la différence. Imaginée au début

des années 2000, elle fusionne en un seul système deux types de techniques : l'interférométrie, qui capte et recompose des rayonnements et des bolomètres, détecteurs refroidis à une température proche du zéro absolu (-273,15 °C) mesurant la puissance de ces rayonnements. « Le dispositif permettra d'analyser les signaux à différentes longueurs d'onde et distinguer plus facilement ce qui provient du Big Bang du brouhaha ambiant, détaille Steve Torchinsky. Et si nous ne sommes pas les premiers à détecter ces ondes gravitationnelles primordiales, nous espérons confirmer ou enrichir les résultats d'autres expériences ». Des contributions elles aussi essentielles tant l'enjeu scientifique est important. ■