

2011

Planck

sonde les débuts de l'Univers

La mission du satellite *Planck* : scruter la lumière fossile du Big Bang. Ses premiers résultats, dévoilés en janvier 2011, laissent supposer que 95 % du contenu de l'Univers nous échappe.

Bien racontée, l'histoire de la physique du **xx^e siècle convoquerait des milliers de personnages plus ou moins célèbres.** Acceptant par avance le reproche de pécher par trop d'omissions, je veux ici mettre en avant le nom de George Gamow, pionnier de la cosmologie moderne et vulgarisateur génial, auteur d'une vingtaine de livres enthousiastes et accessibles à tous, notamment *Monsieur Tompkins au pays des merveilles* (1939).

Ce joyeux drille naquit le 4 mars 1904 à Odessa, principal port de la mer Noire. Dans le petit monde de la physique, il fut vite reconnu comme un théoricien de première classe. Changeant à plusieurs reprises de thème de recherche, il se montra inventif tout au long de sa vie, entremêlant les champs disciplinaires, traversant les lignes de partage académiques. Il faut dire que son esprit aiguisé avait la topologie d'un couteau suisse : il était multifonction, qualité sans doute nécessaire lorsqu'on s'intéresse à l'Univers et à tout ce qui s'y passe.

Après la Seconde Guerre mondiale, Gamow, alors professeur à l'université Georges Washington, à Saint Louis, aux États-Unis, s'intéressa à l'astrophysique nucléaire, et notamment à l'origine des éléments chimiques. Il pensait que la compréhension des noyaux permettrait de mieux saisir l'histoire et l'évolution de la matière : comment se sont formés, se demandait-il, les atomes d'hélium, de carbone, d'oxygène, de soufre, de fer ?

NAISSANCE DES ÉLÉMENTS

Aidé par l'un de ses étudiants, Ralph Alpher, il émit l'hypothèse que tous ont été produits durant les premières phases, très chaudes, de l'Univers en expansion. Il y avait alors les protons, les neutrons, les électrons et les photons, filant en tous sens et se percutant régulièrement. Mais du fait de l'expansion du cosmos et du refroidissement qu'elle induisait, ces particules perdirent rapidement de l'énergie. Après seulement quelques secondes, les photons, dont l'énergie était jusque-là suffisante pour qu'ils brisent systématiquement l'union d'un proton et d'un neutron, devinrent

Fond diffus cosmologique vers 380 000 ans

Inflation

Fluctuations quantiques

©Nasa/WMAP Science Team

trop «mou» pour y parvenir. Les noyaux de deutérium (assemblages d'un proton et d'un neutron) purent donc commencer à se former sans être aussitôt détruits par l'impact d'une particule de lumière. Une fois constitués, ces noyaux de deutérium agglutinèrent à leur tour un neutron et un proton. Se formèrent ainsi des noyaux d'hélium. D'autres mariages de cette sorte allèrent ensuite bon train, permettant de constituer, par captures successives de neutrons, les divers noyaux qui existent aujourd'hui.

Au début de l'année 1948, les deux hommes étaient prêts à publier les conclusions de leur travail sur l'origine des éléments chimiques. Mais avant d'adresser leur article à la *Physical Review*, le facétieux Gamow ajouta

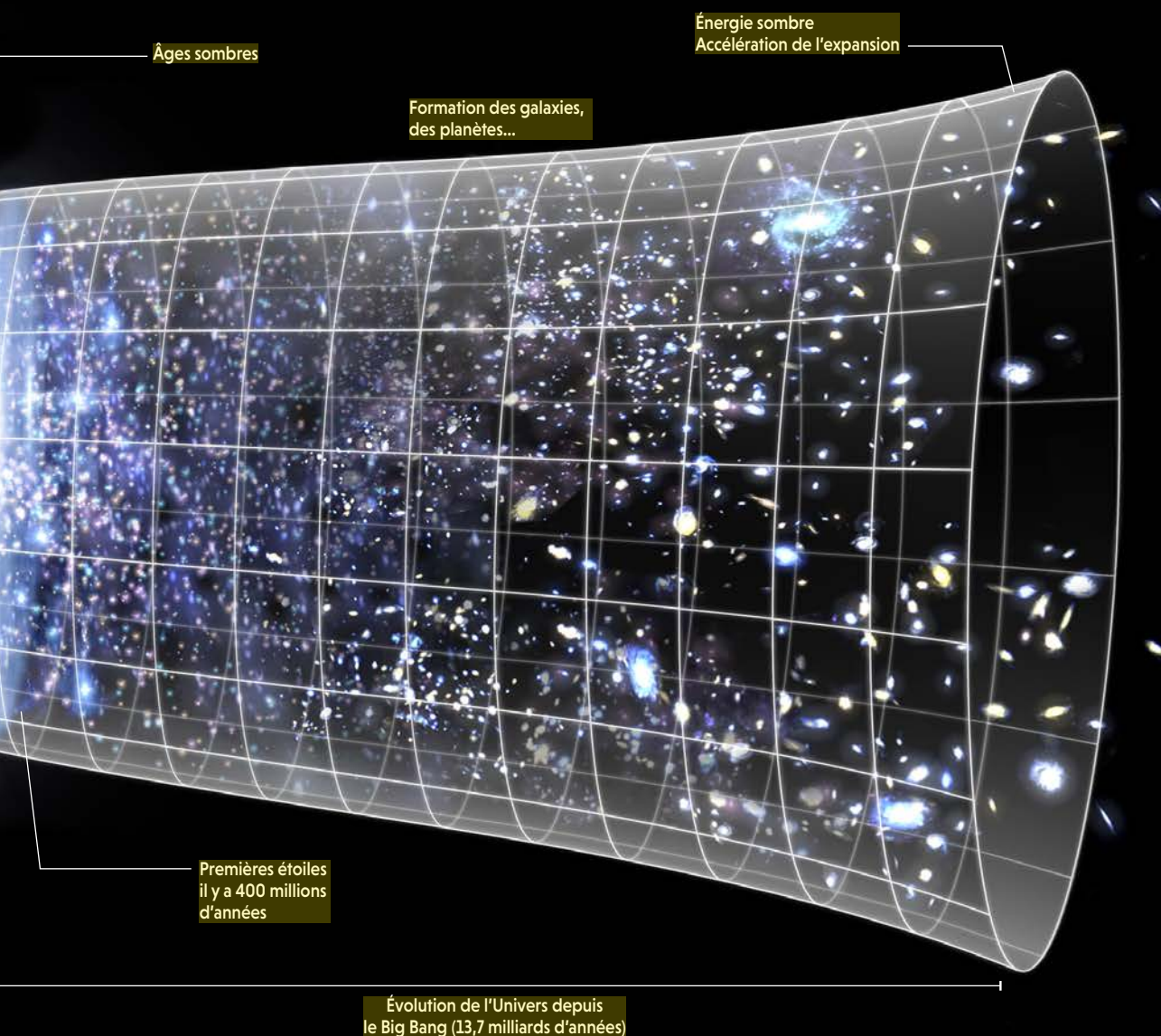
à la liste des signataires le nom de Hans Bethe, qui avait été le premier physicien à comprendre comment les étoiles produisent de l'énergie, mais sans lui demander son avis. Bethe n'avait nullement participé à leurs travaux, mais c'était pour le simple plaisir de jouer phonétiquement avec les trois premières lettres de l'alphabet grec (Alpher, Bethe, Gamow pour alpha, bêta, gamma). Gamow tenta également, mais en vain, de convaincre un autre collaborateur, Robert Herman, d'être cosignataire de l'article à condition de changer son nom en... Delter (pour delta). Comme de bien entendu, cet article, qui demeurera célèbre sous le nom de «papier $\alpha\beta\gamma$ », sera daté du 1^{er} avril.

L'hypothèse révolutionnaire de Gamow devra toutefois être corrigée ultérieurement: ➤

L'AUTEUR



ÉTIENNE KLEIN
physicien,
directeur du Larsim
(Laboratoire
de recherche
sur les sciences
de la matière),
au CEA, à Saclay



seuls les noyaux les plus légers, comme l'hydrogène, le deutérium ou l'hélium, ont pu se former dans l'Univers primordial selon le processus qu'il avait envisagé. Car après trois minutes, le contenu du cosmos était déjà tellement dilué par son expansion que les noyaux, trop éloignés les uns des autres, n'avaient plus la possibilité de se rencontrer, de s'agglutiner et de former des noyaux plus gros tels que le carbone ou l'oxygène. Les noyaux plus lourds n'ont pu apparaître que bien plus tard, des millions d'années après, certains (jusqu'aux noyaux de fer) dans les étoiles, les autres (jusqu'aux noyaux d'uranium) au cours d'explosions d'étoiles très massives, les *supernovæ*.

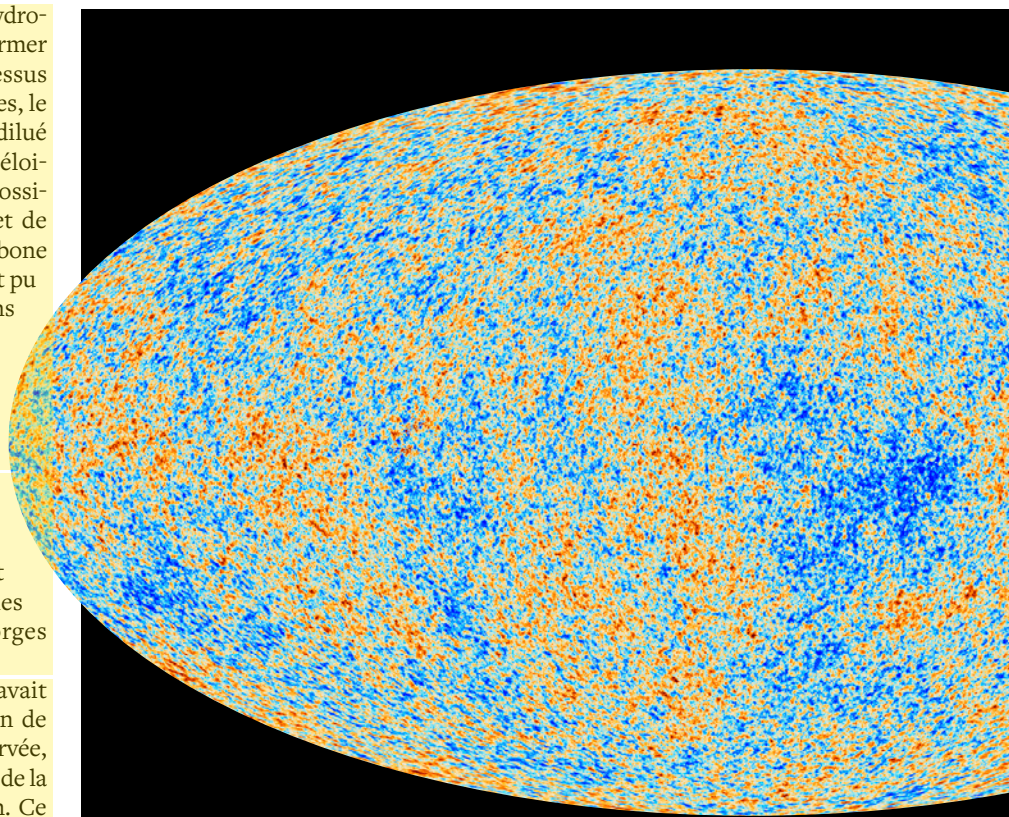
Reste que Gamow était sur la bonne voie. Son travail est d'ailleurs considéré comme le véritable lancement de l'actuelle théorie du Big Bang. Bien sûr, il s'appuyait sur des découvertes antérieures, certaines majeures, notamment celles de Georges Lemaître dans les années 1930.

Cet abbé et mathématicien belge avait remarqué un lien étroit entre l'expansion de l'Univers, qui venait tout juste d'être observée, et certaines conséquences mathématiques de la théorie de la relativité générale d'Einstein. Ce constat l'avait amené à formuler une hypothèse audacieuse: si l'Univers est aujourd'hui en expansion, il a dû être beaucoup plus dense dans le passé; initialement, il devait même être condensé en un «atome primitif» que des fractionnements successifs ont fini par façonner tel que nous le voyons aujourd'hui.

Gamow enrichit cette hypothèse de l'atome primitif en faisant intervenir une nouvelle grandeur physique, la température: dans son passé lointain, comprit-il, l'Univers était non seulement beaucoup plus dense qu'aujourd'hui, mais aussi beaucoup plus chaud, donc beaucoup plus énergétique. En clair, à ses débuts, la matière a dû connaître une fièvre extraordinaire.

LA PREMIÈRE LUMIÈRE COSMIQUE

Gamow passa l'été 1948 à Los Alamos, tandis que Ralph Alpher et Robert Herman demeurèrent à l'université Georges Washington, où ils développèrent certaines des intuitions de leur professeur. Cela les conduisit à franchir un nouveau pas crucial: bien après la formation des noyaux les plus légers, lorsque l'Univers en expansion s'est refroidi à quelques milliers de degrés, il a dû brusquement devenir transparent et laisser échapper sa première lumière. En d'autres termes, selon Alpher et Herman, il devait exister une descendance de l'Univers primordial sous la forme d'un rayonnement vestige, refroidi par l'expansion, semblable à celui d'un corps noir dont la température serait très basse, égale à 5 kelvins d'après leurs calculs.



Les fluctuations de température du fond diffus cosmologique enregistrées par *Planck* témoignent des conditions qui régnaient dans l'Univers lorsqu'il était âgé de 380 000 ans.

La suite de l'histoire leur donnera raison: ce rayonnement sera découvert par hasard, en 1965, par Arno Penzias et Robert Wilson, à une température toutefois plus basse, proche de 3 kelvins.

Les scénarios de Big Bang remportèrent là, avec succès, leur premier grand test. Mais César, on le sait bien, n'obtient pas toujours ce qui devrait lui revenir, du moins pas intégralement: le 8 décembre 1978, un an après la création de *Pour la Science*, ce sont Arno Penzias et Robert Wilson qui reçurent le prix Nobel de physique, et non Gamow et Lemaître, décédés tous les deux une dizaine d'années plus tôt.

Les physiciens étaient encore loin d'avoir compris tout ce que le «fond diffus cosmologique» pouvait leur révéler de l'Univers. En 2009, le satellite *Planck* fut lancé pour étudier ce rayonnement, aussi qualifié de «fossile», avec une meilleure précision que les missions spatiales antérieures, *Cobe* et *WMAP*.

Mais qu'est-ce au juste que ce rayonnement? Pendant les 380 000 ans qui ont suivi le Big Bang, la lumière ne pouvait pas se propager librement dans l'espace: la densité de matière était telle que les photons ne cessaient d'y interagir avec des particules de matière, de sorte que l'Univers était un milieu opaque à sa propre lumière. Le

BIBLIOGRAPHIE

E. Klein, *Il était sept révolutions*, Flammarion, 2016.

Collaboration *Planck*, *Planck early results*, *Astronomy & Astrophysics*, vol. 536, 2011.