

380 000 ans après le Big Bang soit encore en train de voyager dans l'Univers aujourd'hui, faute d'obstacles sur son passage.

Ce rayonnement fossile, ou fond diffus cosmologique, date de cette époque, quand l'Univers n'avait que 380 000 années d'existence. Chez les humains, ce serait l'équivalent de l'âge d'un jour pour une personne centenaire. Un bébé Univers ! Cette lumière fossile se propage depuis lors, et nous atteint de toutes les directions.

DES GRUMEAUX... EN COULEUR

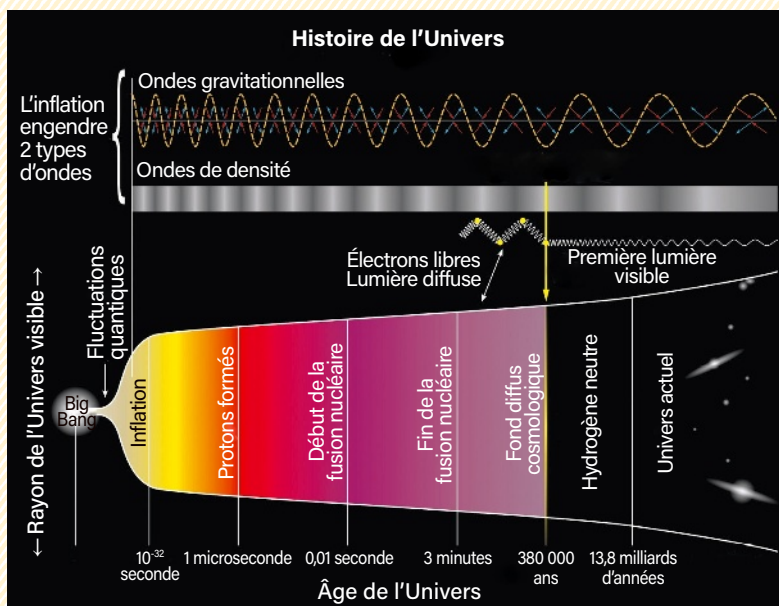
Pour les ondes électromagnétiques telles que la lumière, il y a une correspondance entre la température et le rayonnement qu'un corps émet quand il est chauffé. La lumière rayonnée lorsque l'Univers faisait 6000 °C correspond à la lumière visible, comme celle produite par un morceau de métal chauffé jusqu'à ce qu'il commence

à rougeoier. Pendant l'expansion, l'énergie de l'Univers a été distribuée sur un plus gros volume. Il s'est donc refroidi, comme l'eau chaude d'un verre que l'on verserait dans un volume beaucoup plus grand d'eau froide. Les gouttes d'eau chaude cèdent une part de leur énergie à l'ensemble du liquide, qui au final atteint une température bien inférieure à celle de l'eau chaude initiale.

La température de l'Univers aujourd'hui ne dépasse pas $-270,425$ °C, ou, sur l'échelle absolue, 2,725 kelvins. Cela correspond au domaine des microondes. Ainsi, la lumière visible de l'Univers nouveau-né perdure, sous une forme imperceptible à l'œil, mais pas aux capteurs du satellite *Planck* qui ont livré la plus « vieille » image que nous ayons de l'Univers (voir la figure page ci-contre). Elle nous montre à quoi il ressemblait dans son jeune âge et nous apporte des informations importantes sur la manière dont les particules ont réussi à rester groupées dans

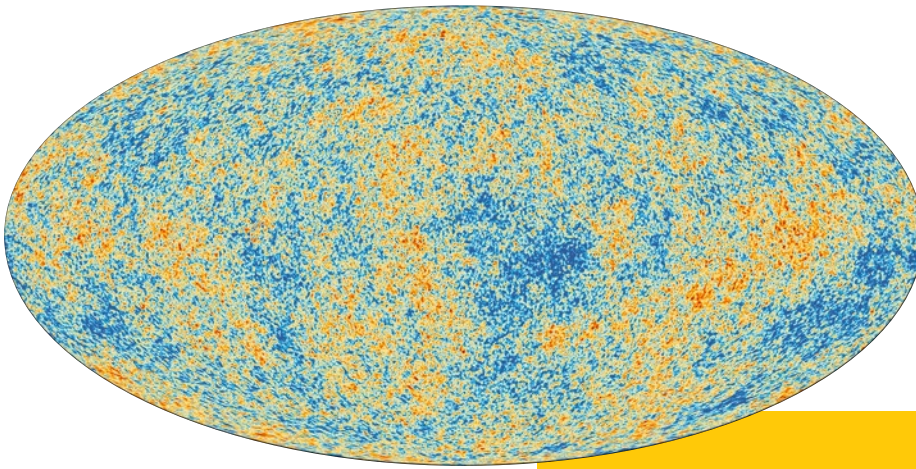
Les débuts de l'Univers

Un instant après le Big Bang, la température de l'Univers a atteint le niveau invraisemblable de 10^{27} degrés (avouons-le, peu importe qu'ils soient celsius ou kelvin) ne laissant de place pour exister qu'à du rayonnement. Après une phase d'expansion ultrarapide, l'Univers a continué à se dilater, mais à un rythme bien plus lent. Toute l'énergie qu'il contient étant dispersée dans un volume toujours plus grand, il a fini par se refroidir doucement. Son contenu s'est peu à peu matérialisé sous forme de particules (les quarks et les gluons), d'abord trop pleines d'énergie pour se lier; elles constituaient un plasma quark-gluon. Puis, environ 10^{-10} secondes après le Big Bang, la température fut assez



basse pour que protons et neutrons puissent se former. À ce stade, l'essentiel de l'Univers restait encore sous forme de rayonnement; les particules de matière apparaissaient

et disparaissaient. Il fallut encore patienter 380 000 ans pour les premiers atomes, et un bon milliard d'années pour les grandes formations comme les galaxies et les amas.



les premiers moments. Bien que les variations soient très petites, l'Univers n'était déjà plus homogène, mais plein de «grumeaux». Les différentes couleurs montrent qu'il y avait des points plus chauds correspondant aux endroits où la matière avait déjà commencé à s'agglutiner sous l'influence de l'interaction gravitationnelle.

Nous pouvons analyser ce rayonnement cosmique comme si c'était un prisme décomposant la lumière en ses différentes couleurs, chacune ayant une longueur d'onde particulière, dotée d'une fréquence précise. Les cosmologues ont étudié la quantité de rayonnement associée à différentes fréquences, chacune correspondant à de petites variations de température, représentées par de petits points ou grumeaux de différentes couleurs sur la carte. La taille de chaque grumeau et sa température sont liées à l'évolution de l'Univers.

Les données extraites de la carte ont été comparées aux prédictions d'un modèle cosmologique théorique qui décrit comment la matière s'est formée et a évolué dans l'Univers depuis le Big Bang jusqu'à nos jours. Ce modèle a six paramètres ajustables, parmi lesquels la densité de la matière noire et celle de l'énigmatique «énergie sombre». Les scientifiques de *Planck* ont déterminé ces deux densités de façon à ajuster le modèle aux observations expérimentales. Résultat ? Comme nous l'avons écrit plus haut, l'Univers contient 27 % de matière noire et 68 % d'énergie sombre.

De cette énergie sombre, nous ne savons à peu près rien. En 1998, deux équipes indépendantes, l'une dirigée par Saul Perlmutter et l'autre par Adam Riess et Brian Schmidt, ont mesuré la vitesse à laquelle les galaxies s'éloignent les unes des autres. Toutes deux ont observé que non seulement



Le satellite *Planck* a dévoilé en 2013 ce qui est la plus vieille image de l'Univers, tel qu'il était 380 000 ans après le Big Bang. Les différences de couleurs traduisent des différences de température. Les zones orangées sont les plus chaudes : la matière commence à s'y agglutiner.

l'Univers est en expansion, mais que cette expansion s'accélère. Cette découverte leur a valu le prix Nobel de physique en 2011. Or pour accélérer, que ce soit à bicyclette ou en voiture, il faut de l'énergie. D'où vient donc cette énergie phénoménale capable d'emballer l'Univers ? Nul ne le sait. Et la nature de cette énergie, dite «sombre» pour faire le parallèle avec la matière noire, est complètement inconnue.

SEMER DES GRAINES DE GALAXIES

La cosmologie a confirmé l'existence de matière noire non seulement en mettant en évidence un excellent accord entre les données expérimentales de *Planck* et les prédictions théoriques, mais encore en clarifiant son rôle essentiel dans la formation des galaxies. La vaste majorité des spécialistes pensent désormais que toute la matière, visible et invisible, était presque uniformément distribuée juste après le Big Bang, comme un immense brouillard. Nous l'avons dit, une phase d'expansion rapide s'est produite immédiatement après le Big Bang, permettant à l'Univers de se refroidir suffisamment pour que trois minutes plus tard les particules commencent à former des noyaux atomiques. Les premiers atomes électriquement neutres sont apparus 380 000 ans plus tard et