

ASTROPHYSIQUE

# LA LUEUR PRIMORDIALE DE L'UNIVERS SE PRÉCISE

**Des chercheurs du CEA-Irfu et leurs collègues suisses de l'École polytechnique de Lausanne publient une image encore plus précise de la toute première lumière émise après le big bang. Des résultats tirés de l'analyse des données enregistrées par les télescopes spatiaux WMAP et Planck.**

• **Inflation** : théorie du cosmos selon laquelle l'univers aurait connu une phase d'expansion très violente juste après le big bang qui lui aurait permis de grossir d'un facteur considérable d'au moins  $10^{26}$ .

Il y a 13,8 milliards d'années naît l'Univers, sous la forme d'une singularité évoluant instantanément en un brouillard chaud, opaque, fait de noyaux d'hydrogène et d'électrons. Pendant plus de 300 000 ans, ce plasma s'étend, par **inflation**\*, mais les grains de lumière émis, les photons, sont aussitôt réabsorbés par les particules de matière. L'Univers est alors une véritable purée de pois. Puis vient le moment, en l'an 380 000 après le big bang, où il est suffisamment dilaté et refroidi pour que les photons puissent se « libérer » : le cosmos devient transparent, la première lumière jaillit.

Et c'est une image de cette toute première lumière, appelée fond diffus cosmologique (*voir encadré*), qu'ont publiée des chercheurs de l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)<sup>1</sup> et du CEA-Irfu. D'une précision exceptionnelle, elle a été reconstruite à partir des données enregistrées par les télescopes spatiaux WMAP et Planck, à l'aide de méthodes mathématiques très poussées.

## Une approche qui infirme les anomalies

Lancé dans les années 1990, le satellite WMAP est le premier à mesurer très précisément l'amplitude des fluctuations de température de la première lumière de l'Univers. Il découvre également des défauts non prédits par la théorie : une dissymétrie dans la direction nord-sud du rayonnement, selon un « axe du diable » et une « tache froide », large zone de la sphère céleste où le fond diffus cosmologique apparaît sensiblement plus froid. En 2013, les données encore plus précises obtenues par le satellite européen Planck, lors d'observations menées entre 2009 et 2013, confirment l'existence de ces anomalies, sans que

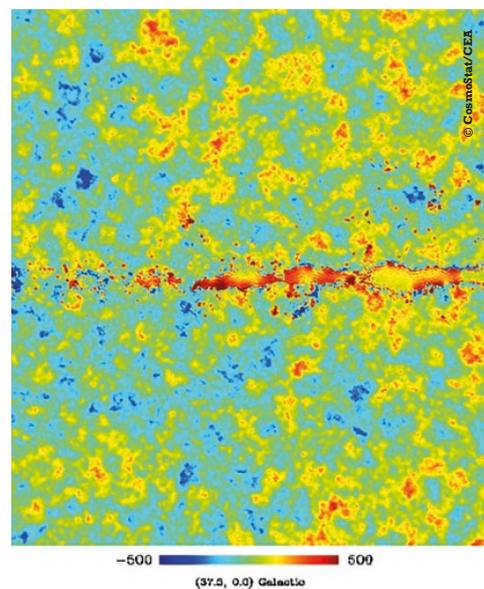
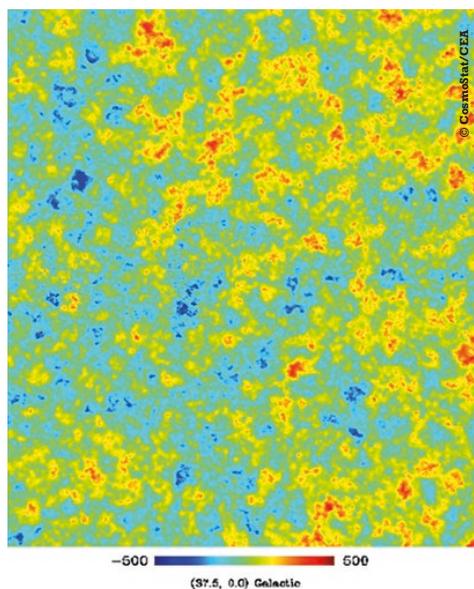
quiconque puisse en expliquer l'origine. C'était sans compter sur les cosmologues et mathématiciens du CEA-Irfu, spécialistes de l'imagerie : « nous avons envisagé le fait que ces anomalies n'existaient pas vraiment mais qu'elles étaient issues des méthodes utilisées pour reconstruire l'image à partir des données envoyées par les satellites », relate Jean-Luc Starck, directeur de laboratoire<sup>2</sup> au CEA-Irfu. La difficulté de l'exercice tient à la fois à la nature de cette « première lumière » et à la capacité des instruments pour la détecter. En effet, les satellites Planck et WMAP observant le ciel à différentes fréquences (neuf pour le premier, cinq pour le second), l'image finale est une combinaison de quatorze images distinctes. Et ces quatorze images incluent également les données relatives aux lumières d'autres galaxies, proches et lointaines, ainsi que celles résultant d'effets physiques complexes<sup>3</sup>.

## La LGMCA pour soustraire les rayonnements parasites et parvenir à la lueur originelle

Pour voir le vrai fond diffus cosmologique, il faut alors soustraire tous ces rayonnements parasites ainsi que le « bruit » produit par les instruments de mesure eux-mêmes. « C'est un peu comme retrouver une voix particulière dans le brouhaha que font dix personnes en train de parler », compare Jean-Luc Starck, pour qui : le processus de « démixage » est fondamental en imagerie. »

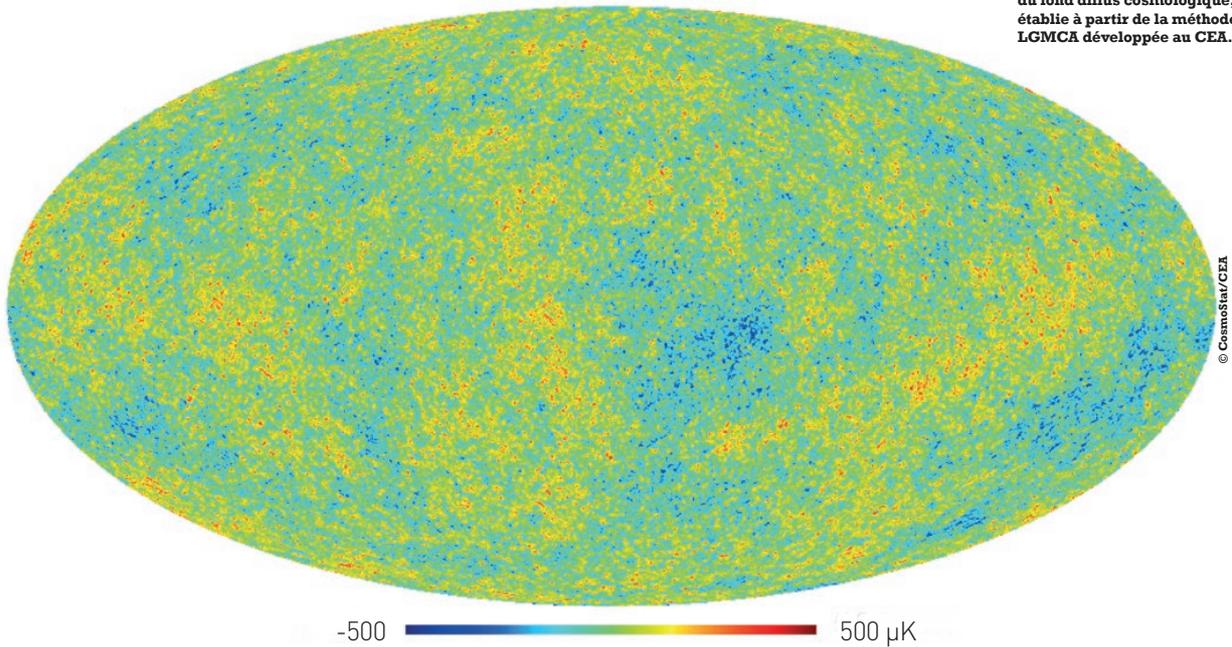
C'est justement ce que sont parvenus à faire les chercheurs de l'EPFL et du CEA-Irfu, à l'aide d'une méthode originale baptisée LGMCA<sup>4</sup>. Basée sur le **principe de parcimonie**\*, elle permet de calculer toutes les composantes des données envoyées par les satellites Planck et WMAP afin d'en

• **Principe de parcimonie** : représentation et utilisation d'une information avec peu de valeurs pour résoudre des problèmes complexes. Une approche qui impose un choix minutieux des valeurs et un travail considérable autour des algorithmes et des simulations numériques qui permettent de traiter ces informations et de les valider.



Comparaison entre l'image générée par les chercheurs du CEA et une autre vue, moins précise en son centre.

◀ Carte, à ce jour la plus précise du fond diffus cosmologique, établie à partir de la méthode LGMCA développée au CEA.



© CosmoStat/CEA

extraire uniquement celles du fond diffus cosmologique. Résultat : en soustrayant les contributions des galaxies et des effets physiques, les anomalies sur lesquelles les cosmologues se cassaient les dents disparaissent tout bonnement. « Afin de rendre nos recherches reproductibles, tous nos codes informatiques sont en open-source, indique Jean-Luc Starck. Ainsi, d'autres équipes peuvent reconstruire leurs propres cartes du fond diffus cosmologique. »

#### Une méthode adaptée aux nouvelles données pour valider la théorie de l'inflation

Fort de ce succès, l'équipe se mobilise à présent pour adapter ses outils au traitement des toutes dernières données que vient de publier la mission Planck. Ces

informations précisent notamment le contenu de l'Univers avec 4,9 % de matière ordinaire, 25,9 % de matière noire (dont la nature reste inconnue) et 69,2 % d'une autre forme d'énergie (encore plus imprécise). Elles livrent également de nouveaux indices sur la polarisation de la première lumière, paramètre qui doit permettre de valider la théorie de l'inflation qui prédit justement cette **polarisation**. Pour cela, les cosmologues recherchent activement les **ondes gravitationnelles primordiales** qui en seraient la signature... Et attendent avec impatience les prochaines données de la mission Planck, à l'été 2015.

Fabrice Demarthon

• **Polarisation** : mode de propagation de la lumière.

• **Ondes gravitationnelles primordiales** : ondes générées par le fond diffus cosmologique, différentes de celles résultant par exemple de l'explosion de deux étoiles.

#### Notes :

1. Laboratoire d'astrophysique LASTRO de l'EPFL.
2. Laboratoire CosmoStat du CEA-Irfu.
3. Par exemple, les effets « Doppler quadrupole », « Sachs-Wolfe », « Sunyaev-Zel'dovich ».
4. Local-generalized morphological component analysis.



CEA-Irfu

Les activités scientifiques de l'institut de recherche sur les lois fondamentales de l'Univers relèvent de l'astrophysique, de la physique nucléaire et de la physique des particules.

## LE FOND DIFFUS COSMOLOGIQUE : PREMIERE LUMIERE DE L'UNIVERS

Le fond diffus cosmologique a été découvert en 1965 par les américains Penzias et Wilson. Émise 380 000 ans après le big bang, cette lumière primordiale n'est pas visible à l'œil nu. Il s'agit d'une émission radio très faible, dans le domaine de longueur d'onde des micro-ondes<sup>1</sup> (entre l'infrarouge et les ondes radio), provenant de tout le ciel. Ce « bruit de fond » possède une température moyenne d'environ 3 kelvins, soit -271 °C. Il s'agit d'une moyenne car, contrairement à ce que les premières observations ont révélé, elle n'est pas tout à fait homogène. En effet, prédites par la théorie et découvertes par le satellite américain Cobe en 1992, d'infimes irrégularités, de l'ordre du cent-millième de degré, parsèment le fond diffus cosmologique. Ces fluctuations de température sont considérées par les astrophysiciens comme les prémices des grandes structures de l'Univers qui ont ensuite donné naissance aux galaxies puis aux étoiles. L'analyse du fond diffus cosmologique revêt donc une grande importance. Elle permet d'une part de reconstruire l'histoire des composantes de l'Univers. Elle peut également contraindre les grandes constantes cosmologiques et révéler l'existence de phénomènes encore mal connus comme les ondes gravitationnelles.

#### Note :

1. D'où l'appellation anglaise CMB pour Cosmic Microwave Background (rayonnement micro-onde de fond cosmique) du fond diffus cosmologique.