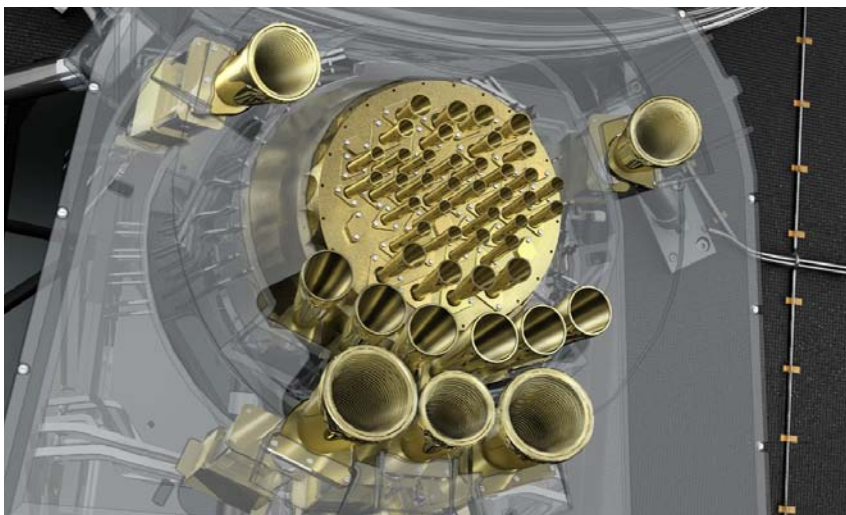




5. LE DÉTECTEUR DE **PLANCK** est composé de neuf groupes de cornets, chaque groupe étant sensible à une fréquence du rayonnement.

LE FOND DIFFUS CACHÉ DERRIÈRE LES AVANT-PLANS

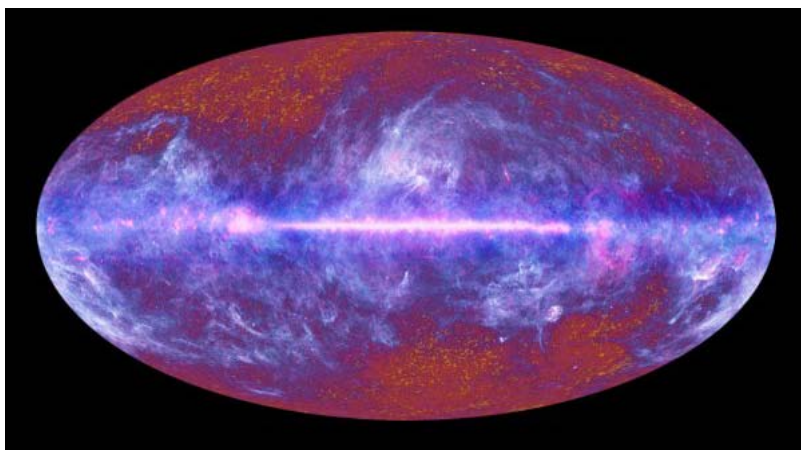
L'observation du fond diffus cosmologique n'est pas directe. Il faut soustraire les effets cinématiques du déplacement combiné de la Terre, du Soleil et de la galaxie par rapport à l'Univers lointain. À cause de l'effet Doppler, les photons provenant d'une direction – celle du mouvement – sont plus « chauds » que ceux de la direction opposée. Ce phénomène a été observé pour la première fois en 1971.

Après avoir soustrait cet effet cinématique, les cosmologistes doivent éliminer certains rayonnements enregistrés par les détecteurs de *Planck* qui se superposent au fond diffus. Ces rayonnements perturbateurs proviennent de processus as-

trophysiques d'avant-plan. Ces sources émettent de la lumière dans la même gamme de longueurs d'onde que le fond diffus. Ce rayonnement a diverses origines : il provient de l'émission galactique, de la poussière interstellaire, du rayonnement d'électrons diffusés sur des particules chargées, ou du rayonnement synchrotron émis par une particule chargée et déviée par un champ magnétique. La carte ci-dessous montre l'effet d'un type d'avant-plan sur la carte du fond. On distingue très nettement la Voie lactée d'où est émis le rayonnement parasite.

Aux fréquences comprises entre 100 et 217 gigahertz, les fluctuations du fond diffus cosmologique dominant tous les

avant-plans. Mais pour extraire au mieux la contribution qui intéresse les cosmologistes, il est nécessaire d'observer une plus vaste gamme de fréquences. Le détecteur de *Planck* est sensible à des fréquences comprises entre 30 et 857 gigahertz. Cela permet de mieux modéliser le rayonnement des particules chargées à basse fréquence et la lumière émise par la poussière à haute fréquence. Il est alors possible de nettoyer les cartes de rayonnement enregistrées entre 100 et 217 gigahertz. Le processus d'obtention de la carte du fond diffus est très complexe et nécessite le travail d'une grande équipe de physiciens pour démêler tous les signaux.



ce résultat et étendent son domaine de validité à des distances allant jusqu'à 660 milliards d'années-lumière, soit 15 fois le rayon de l'Univers observable.

Si l'Univers est plat, il n'est pas forcément infini. Il peut être replié sur lui-même, un peu à l'image d'une pièce dont les murs, le sol et le plafond seraient tapissés de miroirs : même finie, la pièce donnerait l'impression d'un espace infini à quiconque s'y trouverait. Le jeu des réflexions donne une infinité d'images de chaque objet que contient la pièce. La même chose se produit-elle pour l'Univers, est-il « chiffonné » selon l'expression de l'astrophysicien Jean-Pierre Luminet ? On ne trouve pas de trace d'images multiples du fond diffus, ce qui limite les possibilités que l'Univers soit replié sur lui-même.

Et, fini ou pas, l'Univers tourne-t-il sur lui-même ? Là encore, une rotation globale de l'Univers serait observable par le biais d'une série de motifs en spirale que l'on devrait observer dans des directions opposées, spirales dont la structure serait déterminée par les abondances de matière et d'énergie sombre. Là encore, l'analyse ne révèle rien qui serait compatible avec une telle rotation, pas plus qu'on ne trouve la trace de cordes cosmiques, sortes d'immenses concentrations filiformes d'énergie dont la formation est jugée possible à l'issue de l'inflation.

Des surprises dans les données

Le rôle de la mission *Planck* n'a pas été seulement d'améliorer la précision sur certaines grandeurs physiques. Il a permis de tester des modèles différents et d'écarter ceux dont les prévisions ne sont pas observées. Cependant, l'analyse réserve aussi quelques surprises dont il est difficile aujourd'hui de savoir qu'en penser. Par exemple, quand on examine le spectre de puissance (voir l'encadré page 49), on constate des anomalies. Les points pour les échelles angulaires les plus grandes sont presque tous situés au-dessous de la courbe, alors qu'on se serait attendu à ce qu'ils soient équitablement répartis de part et d'autre de celle-ci. Pour quelle raison ? On l'ignore. L'hypothèse la plus prudente serait d'imaginer un problème dans le traitement des données brutes, mais aucune explication n'a été trouvée jusqu'à maintenant. Du reste, cet effet est aussi visible dans les données, certes moins précises, de WMAP. Cela tend sans doute à rendre son

existence plus plausible ; ce ne serait pas un artefact lié au traitement de données.

Une autre observation inexpliquée de WMAP qui se confirme est la présence d'une tache froide dans la carte des fluctuations de température. Elle est située en bas à droite de la carte (voir la figure 3).

Autre surprise, la valeur de la constante de Hubble, qui indique la vitesse d'expansion de l'Univers, obtenue par l'équipe de *Planck* est plus basse, 67,8 kilomètres par seconde et par mégaparsec, mais néanmoins compatible avec celles déduites d'un peu près toutes les autres observations. Quand on combine les données de *Planck* à ces valeurs plus élevées de la constante de Hubble, on obtient des résultats étranges. Par exemple, les propriétés de l'énergie sombre suggèrent que sa densité augmente avec le temps, contrairement à l'analyse avec les données de *Planck* seul. Autrement dit, l'expansion de l'Univers accélérerait de plus en plus et précipiterait l'Univers vers une fin cataclysmique... La confiance à accorder à ce résultat reste à évaluer. En tout état de cause, la précision des données de *Planck* est précieuse : en poussant à l'extrême les

prévisions des modèles, il n'est pas exclu que l'on se rende compte que ceux-ci sont incomplets ou que certaines observations sont moins précises qu'on ne le pensait, voire entachées d'erreurs. Le temps nous dira laquelle de ces deux hypothèses est correcte.

Si les données de *Planck* présentent des écarts avec certaines observations, d'autres tests confirment les résultats de *Planck*. Par exemple, la nucléosynthèse primordiale décrit la production d'hydrogène et d'hélium dans l'Univers primordial. L'étude du fond diffus permet de calculer les concentrations de ces éléments, avec des résultats compatibles avec les observations.

La polarisation : des résultats à venir

Par ailleurs, la distribution de matière dans l'Univers influe sur la carte des fluctuations. En effet, la lumière du fond diffus est déviée de sa trajectoire lorsqu'elle passe à proximité d'une grande densité de matière, à cause des effets de courbure de l'espace suivant les lois de la relativité générale. Il est possible de déduire de cette carte la

distribution de la matière. Or cette distribution est compatible avec des analyses indépendantes de la distribution de matière dans l'Univers.

Les résultats impressionnants de *Planck* ne sont que le premier volet de cette mission. Ils seront encore précisés, en particulier ceux sur l'inflation, par des mesures de polarisation du fond diffus. Lors de la recombinaison, la lumière du fond diffus a acquis une polarisation électromagnétique. Ce phénomène permet notamment de préciser l'époque de la réionisation et l'amplitude des déformations produites par les effets de lentille gravitationnelle.

Un certain type de polarisation pourrait révéler que la naissance des fluctuations de densité que nous observons a été accompagnée de celle d'ondes gravitationnelles, sorte de rides de l'espace-temps se propageant au sein de celui-ci à la vitesse de la lumière. Ces ondes gravitationnelles, dont il n'est malheureusement pas possible de prédire l'amplitude, seraient un test pour l'inflation. La suite de l'analyse des données par l'équipe de *Planck* pourrait ainsi mettre un point final au modèle de l'inflation. ■

france culture

LA MARCHÉ DES SCIENCES

Découvertes, inventions, aventures savantes au fil de l'Histoire

Aurélié Luneau
14h-15h / chaque jeudi

franceculture.fr

SCIENCE