

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'à 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

Aurélien Luneau
14h-15h / chaque jeudi

franceculture.fr

SCIENCE

© 2013 France Culture. Tous droits réservés. Photo : M. D. / Getty Images

Du béton FLEXIBLE

Le béton est le matériau de construction le plus utilisé des sociétés modernes. Au cours des XIX^e et XX^e siècles, son usage s'est répandu pour nombre d'infrastructures : bâtiments, routes, barrages... La quantité de béton produite en 2012 est estimée à 12 milliards de tonnes, soit deux tonnes par an et par être humain. La plus haute construction (828 mètres) et le plus long pont (165 kilomètres) du monde, respectivement la tour Burj Khalifa, à Dubaï, et le pont reliant Danyang et Kunshan, en Chine, sont en béton.

Constitué de granulats (sable, graviers) maintenus par un liant, l'usage du béton s'est répandu après l'invention du ciment dit de Portland (en raison de sa couleur similaire à la roche de Portland, qui a notamment servi à la construction du palais de

L'ESSENTIEL

- Un type de béton à la fois flexible et résistant a été élaboré.
- Ces propriétés sont obtenues en contrôlant la taille des imperfections dans le béton et en renforçant ce dernier par des fibres spéciales.
- Ce béton flexible a été utilisé pour diverses infrastructures, tels des bâtiments et des ponts.

Buckingham) par le maçon britannique Joseph Aspdin en 1824. Ce ciment est le liant le plus utilisé aujourd'hui. Sa fabrication, donc celle du béton, consomme beaucoup d'énergie. On confectionne le ciment en broyant du calcaire (qui contient du calcium) et de l'argile (renfermant de la silice), puis en chauffant la poudre résultante à une température comprise entre 1 400 °C et 1 600 °C. Les grains résultants, nommés clinker, sont ensuite broyés et mélangés avec d'autres éléments en plus faible proportion. Le ciment de Portland contient deux types de silicate de calcium, l'alite ($\text{CaO}_3(\text{SiO}_2)$) et le belite Ca_2SiO_4 , qui assurent respectivement la résistance du béton dès le début du durcissement et sa longévité.

Pour obtenir le béton, on mélange le ciment avec les granulats, puis on ajoute

de l'eau. L'hydratation (les réactions chimiques avec l'eau) entraîne la formation d'un matériau qui durcit, même dans un environnement humide.

Le béton a connu de fréquentes améliorations. En 1867, Joseph Monier, en France, l'a renforcé avec des barres d'acier: c'est le principe du béton armé. Sa résistance à la compression a été augmentée. D'autres innovations ont amélioré sa qualité et la rapidité de sa mise en place, tout en diminuant le besoin de main-d'œuvre: ainsi, le béton dit autoplaçant, créé dans les années 1990, ne nécessite pas de phase de compactage et d'évacuation des poches d'air après la pose. Depuis peu, on incorpore souvent aux bétons certains sous-produits industriels, tels des cendres issues de centrales à charbon ou des résidus minéraux de la production d'acier.

Pourtant, le béton a encore d'importantes limitations. C'est un matériau cassant,

qui résiste bien à la compression, mais mal à la traction. Bien que les structures en béton ne soient habituellement pas prévues pour être étirées, elles subissent tout de même des forces de traction lorsqu'elles sont fléchies, cisailées (c'est-à-dire soumises à une force parallèle à leur surface), ou légèrement déformées (par exemple quand elles se contractent en séchant). Soumis à ces forces, le matériau devient brusquement moins résistant – voire se brise – dès qu'une fissure se propage.

Certaines techniques permettent de surmonter ces limitations, telle l'addition de renforts en acier. Malgré tout, les structures en béton restent fragiles et connaissent parfois des ruptures catastrophiques, notamment lors de tremblements de terre. Celui qui a frappé la province chinoise du Sichuan, en 2008, a provoqué l'effondrement de nombreuses structures en béton et la mort de 69 000 personnes. En 2011, suite au tremblement de terre et

au tsunami qui ont touché le Japon, une fissure longue de 20 centimètres a percé une structure en béton de la centrale nucléaire de Fukushima, entraînant une fuite d'eau radioactive dans l'océan Pacifique.

Outre des ruptures catastrophiques, les infrastructures en béton subissent aussi des détériorations sous des conditions normales, avec des conséquences économiques, sociales et environnementales. La fragilité du matériau contraint à combler sans cesse les fractures, une pratique peu écologique. Aux États-Unis, on estime à près de 1 700 milliards d'euros les investissements nécessaires à la

1. LE BÉTON EST UN MATÉRIAU CASSANT, et c'est pourquoi les tremblements de terre ont des effets dévastateurs sur les infrastructures (page ci-contre). On cherche à le rendre plus flexible, pour qu'il plie sans se rompre lors de sollicitations extrêmes (ci-dessous, un test sur un béton flexible nommé ECC).

Victor Li

Les infrastructures en béton se détériorent vite et sont vulnérables aux tremblements de terre. Pour y remédier, les ingénieurs développent des bétons flexibles.

