



## Actualités planck

### BICEP2 annonce la détection des traces des ondes gravitationnelles primordiales

Une fois n'est pas coutume, cette actualité relate les récents résultats d'une expérience autre que Planck dédiée au **rayonnement** fossile. Mais ces derniers sont suffisamment majeurs pour mériter leur place sur notre site - d'autant que les résultats de Planck ont été abondamment utilisés pour cette étude.

### Qu'est-ce que BICEP2 ?

C'est le nom d'une expérience basée au pôle Sud qui s'est donné comme unique objectif scientifique la mesure de traces des **ondes gravitationnelles** primordiales (ces modes B). L'amplitude attendue de ce signal est très faible - ce signal est 1000 fois plus faible que le signal en température dans les scénarios les plus optimistes.

Les scientifiques de BICEP2 ont optimisé leur instrument et leur analyse pour cet objectif :

- le signal est maximal aux échelles angulaires de quelques degrés sur le **ciel**, donc ils observent une zone suffisamment "large" (quelques centaines de degrés-carré),
- le signal est très faible, donc il observe de très nombreuses fois la même portion du ciel (près de 600 jours d'observation répartis sur 3 ans avec plus de 500 détecteurs concentrés essentiellement sur 1% du ciel utilisé pour l'analyse cosmologique),
- le ciel est observé à la fréquence de 150 GHz : l'intensité du **rayonnement fossile** est presque maximale alors que les émissions galactiques sont très faibles,
- le signal galactique polarisé est beaucoup plus important que le signal polarisé du rayonnement fossile, donc ils observent une zone du ciel quasiment exempte de signal galactique.





Légende: Ce laboratoire situé à moins d'un kilomètre du pôle Sud géographique abrite le télescope BICEP2 (à gauche) et le South Pole Telescope (à droite).

*Crédits : Steffen Richter, Harvard University*

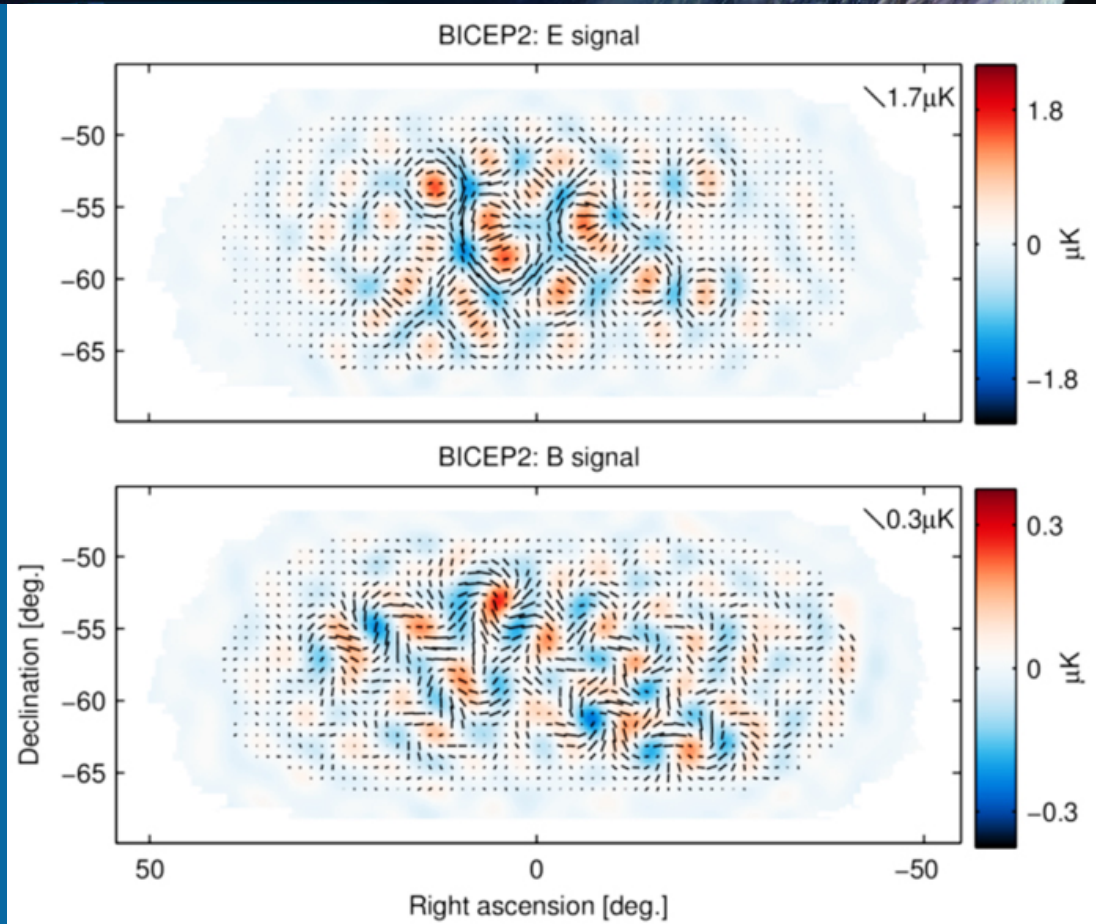
La stratégie de pointage et l'analyse permettent de soustraire les émissions de notre atmosphère et de corriger précisément le signal mesuré de la réponse instrumentale. Le pôle Sud est hostile à l'Homme mais très hospitalier aux télescopes ! Les conditions atmosphériques sont excellentes et l'air de ce désert extrêmement sec - propriété essentielle pour des observations dans le domaine submillimétrique.

BICEP2 signifie qu'il y a eu BICEP1 : c'est la même lunette astronomique de 26 cm de diamètre (et oui, en fait ce n'est pas un télescope avec des miroirs mais une lunette avec des lentilles !), la même optique donc, mais un **plan focal** différent avec d'autres types de bolomètres, en plus grand nombre.

## Qu'a mesuré BICEP2 ?

Cette collaboration vient de publier sa carte en polarisation du rayonnement fossile pour les modes scalaires (en haut) et tensoriels (en bas) :





Légende : L'échelle de couleur donne les écarts en température alors que les traits donnent cette même information par leur longueur et la direction par leur orientation. Les couleurs sont plus nettes vers le centre car ces zones ont été observées plus souvent.

Crédits : collaboration BICEP2

Les structures sont tout à fait caractéristiques du signal attendu. Les modes E (polarisation scalaire) tracent les mouvements de matière sous l'effet de la gravitation. Les mouvements de la matière tombant sur les sur-densités correspondent aux tirets convergeant vers le centre des zones bleues plus denses. A l'inverse, les tirets "entourent" les sous-densités en rouge et correspondent au signal produit par la matière quittant les zones sous-denses.

Les modes B qui correspondent à la polarisation tensorielle présentent une structure différente, en spirale vers la gauche autour des zones rouges et vers la droite autour des points bleus. Les grumeaux de matière bougent en suivant les mouvements de l'espace qui les "porte".

## Quel mécanisme produit le mode B ?

Il y a deux façons de polariser le rayonnement fossile en modes B.

Soit on prend du mode scalaire (il y en "beaucoup" aux échelles angulaires en dessous du degré) et on le transforme par effet de **lentille gravitationnelle**. Environ un pour-cent du signal en modes scalaires se retrouve en modes tensoriels. Ce signal a été précédemment mesuré par les expériences SPT et POLAR-BEAR. Il l'est également par BICEP2.

Soit on fait appel à l'**inflation**. Les modèles prédisent que la quantification du champ gravitationnel couplé à une expansion exponentielle de l'espace (qui se produit durant la phase d'inflation) produit des ondes gravitationnelles dites primordiales dans le cadre de la théorie de la relativité générale. L'empreinte de leur passage se traduit alors par un signal caractéristique qui s'identifie aux modes B. C'est pourquoi ce signal est souvent considéré comme la



preuve "ultime" de l'inflation, et pourquoi il a été si avidement recherché !



Légende : Représentation très schématique des informations fournies par la polarisation du rayonnement fossile. La mer représente l'espace à deux dimensions. L'inflation génère des ondes gravitationnelles (des "vagues") qui se propagent dans l'espace. La température du rayonnement fossile nous fournit une vue statique de la distribution de matière dans l'**univers** 380 000 plus tard. La polarisation du rayonnement fossile nous donne, elle, une vue dynamique : l'espace qui porte la matière est mis en mouvement par les vagues (modes B) alors que la matière sous l'effet de la **gravitation** est attirée vers les sur-densités (mode E).

Crédits : Agence Canopée

## Et Planck dans tout ça ?

Le signal physique est extrêmement ténu et il est donc important de le confirmer et de le compléter. De nombreuses expériences au sol ou en ballon poursuivent le même objectif que BICEP mais seul Planck observe tout le ciel dans neuf bandes de fréquences. Les résultats en polarisation de Planck seront précieux à plusieurs niveaux :

- la collaboration Planck fournira en automne prochain ses spectres en polarisation E et B qui pourront être comparés à ceux de BICEP2. C'est très complémentaire car Planck utilisera une fraction du ciel bien plus large - mais avec une moindre sensibilité,
- l'analyse de BICEP2 utilise largement les résultats de Planck en température et en polarisation de la poussière. Les mesures en température seront encore meilleures que celles livrées en 2013 car elles seront basées sur la mission complète avec une analyse améliorée. Les cartes par fréquence en polarisation seront directement disponibles et non plus seulement les cartes sur l'émission thermique de la poussière avec des extrapolations sur sa polarisation. La mesure de BICEP2 elle-même pourra donc être affinée,
- l'interprétation de cette mesure en termes de paramètres cosmologiques, et donc de contraintes sur l'inflation, se base sur les résultats de Planck en température, de WMAP en polarisation et de quelques expériences avec une très haute résolution angulaire. La capacité de Planck en termes de polarisation est bien supérieure à celle de WMAP et donc l'exploitation des mesures de BICEP2, conjointe avec celles des futures mesures de Planck, conduira à des résultats bien plus précis que les résultats actuels.

C'est une nouvelle fenêtre sur l'univers primordial qui vient de s'ouvrir et Planck a un rôle irremplaçable à jouer dans cette aventure fascinante.

### Pour en savoir plus :

- [Article Futura Espace "Inflation : les ondes gravitationnelles du Big Bang enfin découvertes ?"](#)
- [Article Lumps 'n' Bull "How solid is the BICEP2 B-mode result?"](#) (en anglais)
- [Inflation](#)
- [Polarisation](#)

