



Un regard vers L'origine de l'Univers

Résultats

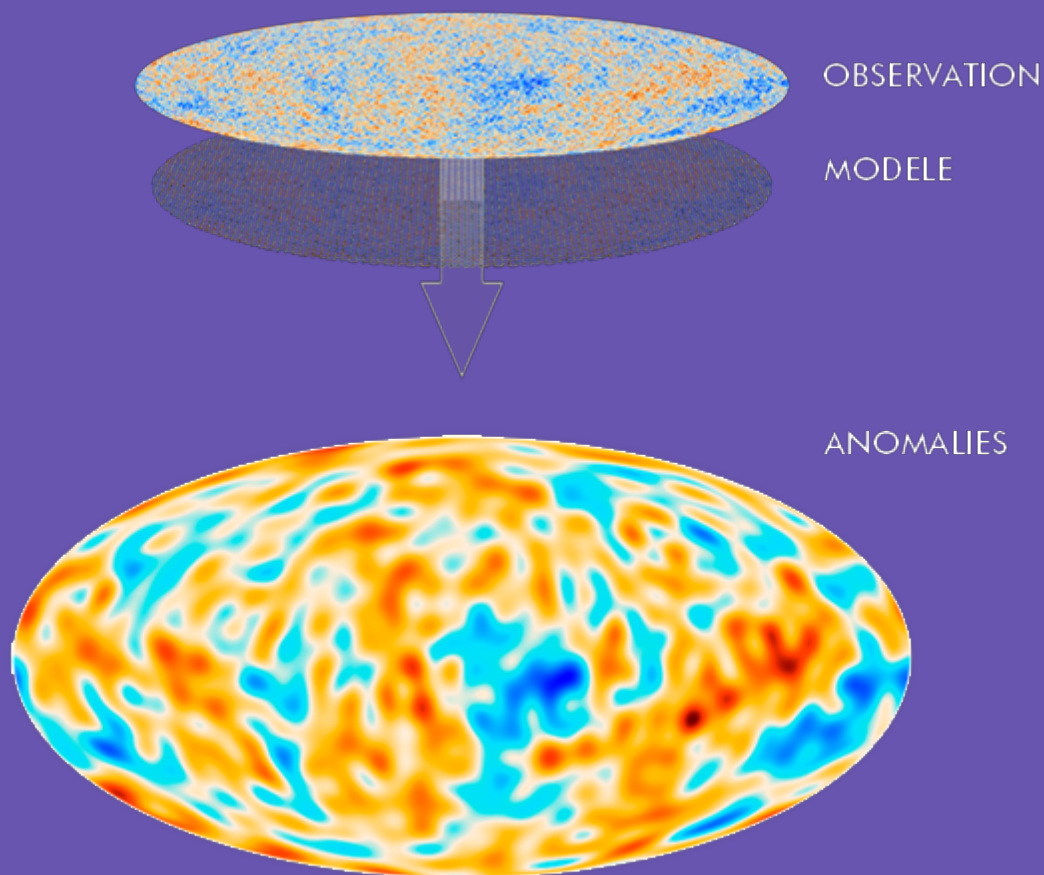
L'Univers à grande échelle n'est pas vraiment celui qu'on attendait

La structure et l'évolution de l'**univers** peuvent s'expliquer dans le cadre d'un scénario appelé modèle de concordance. Celui-ci fonctionne remarquablement bien pour expliquer l'histoire des galaxies et amas de galaxies. Mais notre univers aux plus grandes échelles n'est en fait que marginalement compatible avec ce modèle...

Une ombre dans la lumière primordiale ou une lumière sur un nouveau modèle ?

La carte du **rayonnement** fossile dressée par Planck permet de connaître l'état de l'univers très tôt dans son histoire. Celui-ci a par la suite évolué pour donner l'univers que nous connaissons. C'est ainsi que l'on peut comparer les embryons des galaxies et amas de galaxies à ce qu'ils sont devenus - ce que le modèle de concordance parvient à expliquer avec une efficacité remarquable. Mais si on extrapole ce modèle aux structures plus grandes, alors des anomalies, petites mais significatives, apparaissent.





Légende : Différence entre le **rayonnement fossile** observé et le rayonnement fossile que l'on attend aux grandes échelles d'après ce que l'on observe aux moyennes à petites échelles. L'amplitude maximale des fluctuations "manquantes" est inférieure à 10 millionième de degré.

Crédits : **ESA** - collaboration Planck

Aucune variante simple du modèle actuel, ni aucun modèle alternatif envisagé jusque là n'explique facilement cette observation. Elle pourrait n'être qu'un simple effet du hasard — on estime à une chance sur 100 la probabilité que ce soit le cas — mais ce pourrait aussi être l'indice d'un nouvel ingrédient, encore inconnu, à ajouter au modèle de notre Univers. Il faudra sans doute attendre que Planck livre sa carte de la polarisation du rayonnement fossile pour y voir plus clair.

Pour en savoir plus :

- [Résultat histoire de l'Univers](#)
- [Résultat géométrie](#)

Les grandes échelles à la loupe

Les tests de gaussianité n'ont pas révélé d'écart significatif entre le modèle de concordance avec une **inflation** simple et les fluctuations réelles observées dans la carte du rayonnement fossile. En revanche des écarts entre

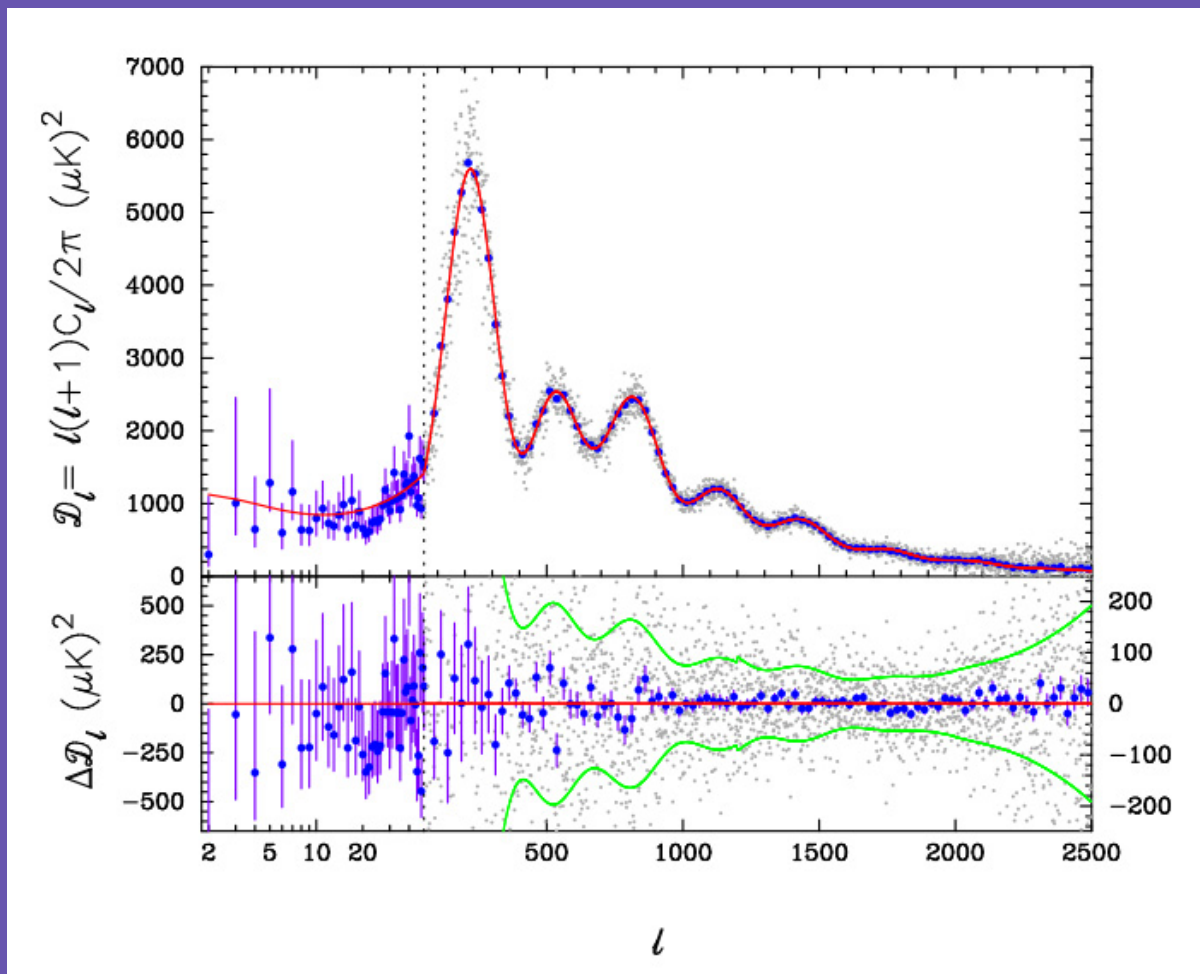
l'hypothèse d'**isotropie** (toutes les directions sont statistiquement équivalentes) et les fluctuations observées à grande échelle (plusieurs degrés dans le **ciel**) ont été décelés.

Les anomalies détectées dans la carte du rayonnement fossile de Planck avaient déjà été pointées du doigt dans la carte du rayonnement fossile de WMAP. C'est la confiance dans la fiabilité du résultat qui s'est accrue grâce à la très grande sensibilité des cartes dans les neuf bandes en fréquence de la mission Planck. L'origine cosmologique de ces anomalies semblent plus probable que jamais.

Pourquoi maintenant ?

Les grandes échelles ont déjà été observées par le satellite WMAP, mais la résolution était insuffisante pour accéder aux plus petites échelles. Les expériences au sol ACT et SPT ont une résolution plus fine que celle de Planck, mais elles n'ont pas accès aux grandes échelles car elles observent une petite partie du ciel. Certes des analyses précédentes ont combiné les résultats obtenus par WMAP, ACT et SPT, mais elles devaient utiliser toutes les informations simultanément avec une fiabilité moindre car les petites échelles étaient "calées" sur les grandes.

Planck couvre seul toutes les échelles accessibles avec le rayonnement fossile. On peut donc maintenant jouer, de façon tout à fait cohérente, le jeu d'ajuster le modèle sur la partie comprenant les pics acoustiques dans le **spectre de puissance angulaire** et comparer ce qui est prédit aux plus grandes échelles avec ce qui est effectivement mesuré. Il est légitime de faire cet exercice car les pics acoustiques correspondent aux échelles des amas de galaxies. C'est à ces échelles que l'on a déjà pu vérifier la cohérence du modèle avec la part polarisée du rayonnement fossile et avec les ondes acoustiques baryoniques (BAO).



Légende : Spectre de puissance angulaire des fluctuations en température du rayonnement fossile réalisé par la collaboration Planck à partir des données recueillies par les instruments HFI et LFI du satellite. L'échelle est logarithmique sur les 50 premiers multipôles puis linéaire afin de montrer un maximum de détails. Chaque point gris

correspond à un multipôle, les points bleus de la partie linéaire sont la moyenne sur 20 multipôles. La ligne rouge correspond au modèle cosmologique ajustant au mieux les données. La partie inférieure correspond à la différence entre mesures et modèle, les lignes vertes indiquent la variance cosmique : c'est l'erreur ultime, due au fait que nous avons un seul univers observable.

Crédits : ESA - collaboration Planck

Est-ce un hasard ?

Si on lance un dé six cents fois, il tombera sur chacune des six faces une centaine de fois approximativement - et on verra s'il est truqué éventuellement en cas de large déviation par rapport à cette valeur attendue. Si on le lance un beaucoup plus petit nombre de fois, il sera naturellement plus délicat de mettre en évidence un éventuel défaut : on peut suspecter une anomalie mais non en avoir la certitude.

De même, on peut calculer la probabilité pour que le modèle de concordance soit parfaitement correct à toutes les échelles et que notre univers observable présente le visage que cartographie Planck. On bute sur l'incertitude fondamentale et irréductible, traduite par la variance cosmique : on n'accède par définition qu'à un nombre limité de mesures aux plus grandes échelles parce que nous n'avons qu'un seul univers à disposition et donc, par exemple, que 4 "quarts d'univers".

Donc on peut calculer la chance (ou la malchance) d'observer un manque de puissance aux plus grandes échelles malgré un modèle correct. Dans le cas présent, on estime avoir une chance sur cent pour que ce soit du hasard. C'est insuffisant pour être une découverte certaine (il faudrait typiquement une chance sur deux millions), mais c'est suffisant pour être suspect...

Est-ce une erreur ?

Ce cas a naturellement été envisagé et les résultats amplement testés. Quatre cartes du rayonnement fossile extraites par différentes méthodes des cartes en fréquence de Planck conduisent aux mêmes résultats. Trois instruments avec des mises en oeuvre différentes et donc des erreurs instrumentales différentes (WMAP, les instruments HFI et LFI de Planck) conduisent aux mêmes résultats.

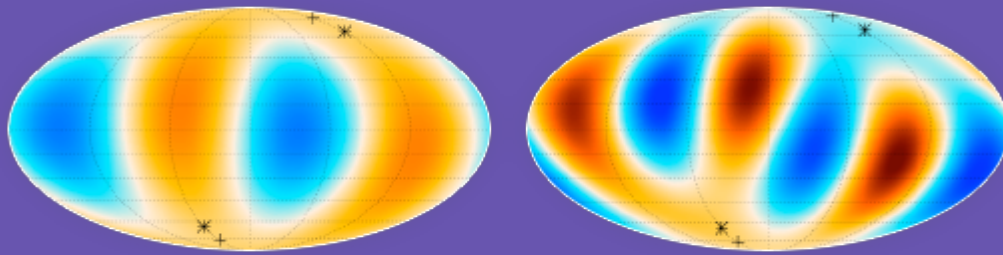
Mais selon la partie du ciel que l'on regarde, on n'obtient pas exactement les mêmes résultats. Une contribution de résidus de signal galactique est écartée car cette constatation persiste, quelle que soit la fréquence ou la méthode de séparation de composantes utilisées ou le masque appliqué (ce dernier point, dans certaines limites naturellement !).

Donc il semble bien que ce soit l'isotropie du ciel primordial qui est en cause, et non un artefact d'origine instrumentale ou [astrophysique](#).

Quel est le problème ?

Des anomalies sont détectées dans la carte et dans le spectre de puissance angulaire :

- Les quadrupôle et octopôle ont des axes presque alignés.
- Une petite région du ciel contient moins de fluctuations qu'ailleurs, elle est plus "vide".
- On peut séparer le ciel en deux hémisphères, l'un contenant moins de fluctuations que l'autre aux échelles d'une quinzaine de degrés et au-delà.
- On observe un déficit de puissance sur les 30 premiers multipôles du spectre de puissance angulaire.



Légende : Fluctuations quadrupôlares (gauche) et octopôlares (droite) visibles dans la carte du rayonnement fossile de Planck. L'échelle en couleur va de -35 à + 35 millièmes de degrés. Les croix indiquent l'axe du quadrupôle, les étoiles marquent celui de l'octopôle.

Crédits : ESA - collaboration Planck

Fort heureusement toutes ces "choses bizarres" ne remettent pas fondamentalement en cause la fiabilité des paramètres cosmologiques car :

- L'erreur due à la variance cosmique aux grandes échelles et la qualité des mesures aux échelles des pics acoustiques font que les premiers points du spectre ont un rôle négligeable dans l'estimation du modèle.
- Le "vide" est une zone de 10 degrés de diamètre environ : c'est environ 0.2 % du ciel, donc sans impact sur l'estimation du spectre de puissance.
- La différence entre les deux hémisphères se retrouve en moyenne au niveau du spectre de puissance angulaire.

Est-ce un mystère ?

Aucune explication satisfaisante n'a été trouvée. Effets locaux, géométries compliquées,... Nombre de scénarios exotiques ont été testés. Si certains permettent d'améliorer une partie des problèmes, ils butent sur d'autres aspects. Bref, on ne sait pas... Les mesures à grande échelle de la part polarisée du rayonnement fossile pourraient apporter des éléments décisifs pour mieux cerner l'univers à grande échelle...

Pour en savoir plus :

- [Résultat rayonnement fossile](#)
- [Topologie](#)