



## Résultats

### Géométrie de l'espace et contenu de notre Univers

Le modèle de concordance est confirmé, mais des changements significatifs dans la répartition des constituants sont nécessaires. Quant à la géométrie, l'espace est plus plat que jamais !

### Ce que contient notre univers, précisément

Le modèle de concordance décrit toujours correctement toutes les observations du rayonnement fossile, mais à condition de mettre plus de matière et moins d'énergie noire (ou constante cosmologique). La quantité de matière ordinaire et de matière noire doit être augmentée de 10% par rapport aux estimations précédentes.



Survolez l'image pour comparer

Légende : Répartition de l'énergie dans l'univers aujourd'hui en utilisant uniquement les données du rayonnement fossile, Planck inclus ou non.

Les résultats obtenus avec le rayonnement fossile, en utilisant les données du satellite Planck, sont très robustes. En effet, l'utilisation conjointes des données sur les ondes de matière dans l'univers récent (BAO pour **oscillations acoustiques baryoniques**) n'affecte que marginalement la répartition de l'énergie aujourd'hui sous ses diverses formes. C'est un argument majeur en faveur de la validité du modèle pour décrire l'évolution des structures tout au long de l'histoire de notre univers.



Survolez l'image pour comparer



Légende : Répartition de l'énergie dans l'univers aujourd'hui en utilisant les données du rayonnement fossile, Planck inclus, combinées ou non aux données des grandes structures (BAO pour oscillations acoustiques baryoniques).

Le modèle utilisé ici est le modèle de concordance qui suppose un espace plat. Si on recommence l'exercice d'ajustements des paramètres cosmologiques en ajoutant un paramètre de courbure, on constate que notre espace doit être justement plat (ce qui n'a rien à voir avec sa forme mais signifie que sa géométrie est euclidienne). L'hypothèse est précisément vérifiée puisqu'on mesure un paramètre de courbure compris entre  $-0.01$  et  $+0.01$ .

### Pour en savoir plus :

- [Résultat rayonnement fossile](#)
- [Résultat histoire de l'Univers](#)
- [Résultat lentille gravitationnelle](#)
- [Modele de concordance](#)
- [Contenu de l'Univers](#)
- [Matiere noire](#)
- [Energie noire](#)

## La courbure de l'espace

On sait depuis une dizaine d'années que l'espace de notre univers observable est quasiment plat. C'est d'ailleurs l'un des fondements d'une cosmologie avec **inflation** ! Si l'épisode d'inflation a duré suffisamment longtemps, alors on s'attend à un espace très précisément plat. Il est cependant possible de construire des modèles d'inflation qui conduisent à des géométries ouvertes ou fermées. Des modèles spéculatifs ou des univers avec des topologies complexes sont également liés à la géométrie de l'espace. Mesurer le mieux possible la courbure de notre Univers est donc une tâche essentielle.

Le rayonnement fossile seul ne peut donner accès à la courbure de l'espace avec précision. L'information est contenue dans la taille caractéristique des grumeaux, il s'agit d'un effet géométrique : l'angle sous lequel on voit ces grumeaux dépend de la façon dont l'espace s'est comporté entre le moment où cette image s'est formée et le moment où nous l'observons. Il faut donc un autre élément, plus récent dans l'histoire de l'Univers. Planck utilise l'effet de lentille gravitationnelle sur le rayonnement fossile lui-même et obtient déjà des résultats assez précis sur la courbure de l'espace. Cette information est cependant un peu "floue" car intégrée sur la ligne de visée, et elle se concentre sur l'univers il y a 10 milliards d'années environ. Une géométrie très légèrement fermée, largement compatible avec un univers plat est favorisée par le rayonnement fossile seul.

Avec l'information des ondes acoustiques baryoniques (résultats obtenus en étudiant la distribution des galaxies avec les données du Sloan Digital Sky Survey), on utilise l'Univers tel qu'il était il y a seulement 3 milliards d'années, et en appliquant la même physique que pour le rayonnement fossile : on suit l'évolution des ondes de matière.

On obtient alors un résultat remarquable qui est quantifié par la variable  $\Omega_k$  :  $\Omega_k = 0$  correspond à un univers exactement plat. La mesure actuelle est  $\Omega_k = -0.0006$ , et on est sûr à 95% que sa valeur est comprise entre  $-0.0074$  et  $+0.0057$ . S'il y aura toujours une erreur associée à la mesure rendant impossible l'exclusion totale d'un univers ouvert ou fermé si celui-ci est en réalité plat, on peut cependant raisonnablement résumer l'étude faite avec les données de Planck par "notre espace est plat".



Survolez l'image pour zoomer

Légende : Les points de couleur représentent les valeurs acceptables dans le plan  $\Omega_k/\Omega_m$  (sachant que  $\Omega_k + \Omega_\Lambda + \Omega_m = 1$ ) pour différentes valeurs de la **constante de Hubble** d'après les données du rayonnement fossile Planck+WMAP. Les contours noirs délimitent les valeurs acceptables si on ajoute l'effet de lentille gravitationnel mesuré par Planck-HFI sur le rayonnement fossile. Les zones rouges marquent les valeurs permises si on ajoute les mesures d'oscillations acoustiques des baryons. La dégénérescence est brisée : la géométrie est sévèrement contrainte. La diagonale correspond à une géométrie plate ( $\Omega_k = 0$ ).

Crédits : [ESA](#) - collaboration Planck

## Au delà de la platitude : topologie et isotropie

L'isotropie de l'univers est une hypothèse de base qu'il faut tester. Cette étude nécessite une couverture du **ciel** maximale, haute résolution et signal propre (soit non bruité) : la carte de Planck a donc toutes les qualités requises ! L'objectif est de chercher les traces d'une topologie non triviale (voir notre page topologie) ou d'une rotation de l'univers (modèles de Bianchi).

À la recherche de signes d'une topologie non-triviale, la collaboration Planck a traqué des structures particulières dans la carte du rayonnement fossile, notamment des cercles identiques ou presque identiques. Mais aucun signe n'a été détecté. Il ne faut pas oublier que nous n'avons accès qu'à une "petite" partie de l'Univers : celui-ci est peut-être infini, peut-être fini. Nous pouvons juste affirmer que la taille de la cellule élémentaire est au moins de l'ordre de la taille de notre univers observable...

Parmi les modèles possibles d'univers en rotation, il y en a un (le modèle de Bianchi VII<sub>h</sub>) qui se traduit par une anisotropie globale pouvant expliquer les structures aux plus grandes échelles détectées dans la carte de WMAP. Elle est aujourd'hui exclue si on considère la carte de Planck et un modèle réaliste en accord avec les paramètres cosmologiques standards - c'était certes déjà très difficile de concilier rotation globale et paramètres cosmologiques acceptables avec les données de WMAP. Donc aucun signe de rotation de notre univers conciliable avec les structures qu'il contient...

### Pour en savoir plus :

- [Résultat histoire de l'Univers](#)
- [Modèle de concordance](#)
- [Contenu de l'Univers](#)
- [Matière noire](#)
- [Énergie noire](#)