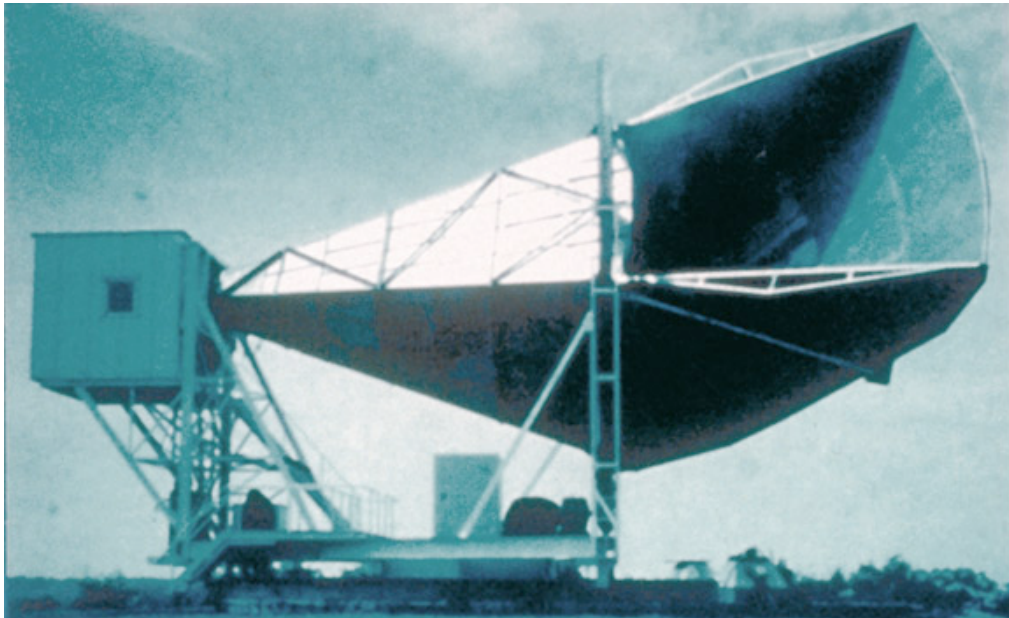




# PW@APC 2016



Contact : J.L. ROBERT  
[astropik@free.fr](mailto:astropik@free.fr)

# PW@APC

## **QUE VA-T-ON DETECTER ?**

Ce projet propose de refaire l'expérience de Penzias et Wilson qui permit pour la première fois de détecter le rayonnement fossile à 3K en 1965. Ce rayonnement a été émis environ 380000 ans après le Big Bang et correspond à la première lumière de l'Univers. Étant très décalé vers le rouge, on peut observer aujourd'hui ce rayonnement dans la gamme de longueurs d'onde millimétriques.

## **COMMENT ?**

L'utilisation de techniques radio accessibles à peu de frais permet d'envisager la détection du rayonnement fossile, en utilisant les mêmes méthodes de mesure que celles de Penzias et Wilson. On utilisera pour cela une antenne de réception de TV par satellite fonctionnant à 10GHz et qui est facilement modifiable.

## **QUELLE PHYSIQUE PEUT-ON FAIRE ?**

Les principales contraintes instrumentales pour la détection du rayonnement fossile seront abordées avec ce système : bruits, gain d'amplification, stabilité, pointage... D'autres sources astrophysiques comme le Soleil, la Lune ou la Galaxie seront également observées afin d'évaluer les performances de l'instrument dans ses différentes configurations. Il est envisageable de développer l'instrument pour faire de l'interférométrie, de la polarisation, cartographier la Lune, le Soleil, la Galaxie...

## **L'OBJECTIF :**

L'objectif de cette manipulation est de refaire l'expérience de PENZIAS & WILSON de 1964 qui a permis la découverte de la première « preuve » accréditant la théorie du big bang. Il s'agit donc de reproduire, avec des moyens relativement simples (typiquement une antenne satellite de réception TV modifiée), l'expérience de 1964 réalisée grâce à une antenne conçue pour la communication avec les satellites de l'époque.

## LA DECOUVERTE DU CMB

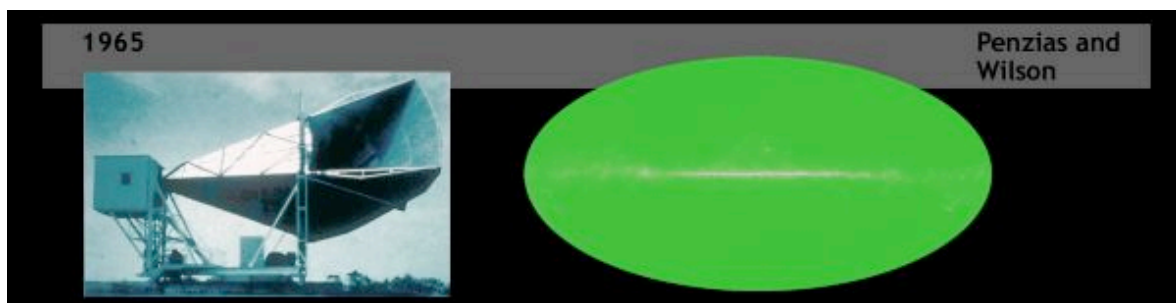
Les deux astronomes Arno PENZIAS et Robert WILSON, qui travaillaient pour les laboratoires de la compagnie Bell Telephone, disposaient d'une antenne destinée à l'origine à communiquer avec les satellites ECHO puis Telstar. Ils souhaitaient transformer cette antenne en radio-télescope pour mesurer le rayonnement dans le domaine radio de la voie Lactée. Pour ce faire, ils avaient besoin



de calibrer correctement l'antenne, et en particulier de connaître le bruit de fond généré par celle-ci ainsi que par l'atmosphère terrestre. Ils découvrirent ainsi accidentellement un bruit supplémentaire d'origine inconnue au cours d'observations faites sur la longueur d'onde 7,35 cm. Ce bruit, converti en température d'antenne correspondait à une température du ciel de 3,5 K, ne présentait pas de variations saisonnières, et ses éventuelles fluctuations en fonction de la direction ne dépassaient pas 10 %. Il ne pouvait donc s'agir du signal émis par la Voie Lactée qu'ils cherchaient à découvrir.

Penzias et Wilson ne connaissaient pas les travaux des cosmologistes de leur époque, et Penzias mentionna fortuitement sa découverte au radio-astronome Bernie Burke. Ils apprirent ainsi que James Peebles avait prédit l'existence d'un rayonnement de quelques degrés K, et qu'une équipe composée de Dicke, Roll et Wilkinson de l'université de Princeton construisait une antenne pour le détecter. Penzias entra alors en contact avec Dicke pour lui faire part de ses résultats. Ils décident de publier conjointement deux articles, l'un signé de Penzias et Wilson décrivant la découverte du fond diffus cosmologique, l'autre signé par Peebles et l'équipe de Dicke en décrivant les conséquences cosmologiques.

Penzias et Wilson reçurent chacun 1/4 du prix Nobel de physique 1978 pour leur découverte.



*Image du fond diffus cosmologique mesurée par l'antenne de Penzias et Wilson.*

*C'est à George Gamow que l'on attribue la prédiction du fond diffus cosmologique. Gamow a effectivement prédit l'existence d'un rayonnement issu du Big Bang, mais n'en avait pas prédit le spectre de corps noir. C'est A. G. Dorochkevitch et I. D. Novikov qui en 1964 furent les premiers à prédire que le spectre du rayonnement doit être celui d'un corps noir et donc situé dans le domaine micro-onde. Ils citèrent même l'antenne des laboratoires Bell comme le meilleur outil pour détecter ce rayonnement ! En 1961, E. A. Ohm avait rédigé un rapport interne décrivant les performances de cette antenne. Mais se basant sur ce rapport, Dorochkevitch et Novikov conclurent que ce rayonnement n'avait pas été observé. Il s'agissait cependant d'une erreur d'interprétation de leur part : le rapport de Ohm mentionnait une quantité  $T_{sky}$ , mesurée à 2,3 K, représentant la contribution de l'atmosphère terrestre. Dorochkevitch et Novikov semblent avoir interprété cette quantité comme la somme de la contribution atmosphérique et du fond du ciel. Le chiffre de 2,3 K correspondant effectivement bien à la contribution atmosphérique telle qu'elle était estimée à l'époque, Dorochkevitch et Novikov conclurent alors que la contribution du fond ciel devait être limitée à une fraction de 2,3 K, en désaccord avec les prédictions de Gamow...*

### ***Le Prix Nobel de Physique 2006***

*a été attribué à **John C. MATHER** et **John F. SMOOT** « pour leur découverte du spectre de corps noir et des anisotropies du fond diffus cosmologique » (Académie Royale des Sciences de Suède).*

*Leurs travaux de recherche, portant sur l'origine de l'Univers et qui tentent de mieux comprendre l'origine des galaxies et des étoiles, ont été réalisés à partir des données recueillies par le satellite **COBE**, lancé par la NASA en 1989. Ces travaux ont contribué à renforcer le modèle cosmologique du big bang.*

# **LA PHYSIQUE DU FOND DIFFUS COSMOLOGIQUE**

La cosmologie moderne repose sur le principe cosmologique. Il suppose que l'univers est homogène et isotrope à de grandes échelles. Ainsi, muni de ce principe, il est possible de décrire théoriquement l'évolution d'un univers dont la dynamique serait gouvernée par la gravitation. On trouve alors que les seuls univers possibles ne sont pas stationnaires (ce qu'Einstein avait néanmoins rendu possible grâce à la constante cosmologique) et que les galaxies ne peuvent pas se former.

L'Univers est structuré sur des échelles allant de la dizaine de kpc à la centaine de Mpc. Les premières structures visibles sont les galaxies puis les amas de galaxies, les superamas de galaxies et enfin la structure en éponge. Arrivés à cette dernière échelle, les galaxies semblent réparties sur une structure en éponge constituée de grands volumes vides plus ou moins sphériques. Leur diamètre est d'environ 70 Mpc et leur surface est matérialisée par les galaxies sur une épaisseur de 5 Mpc.

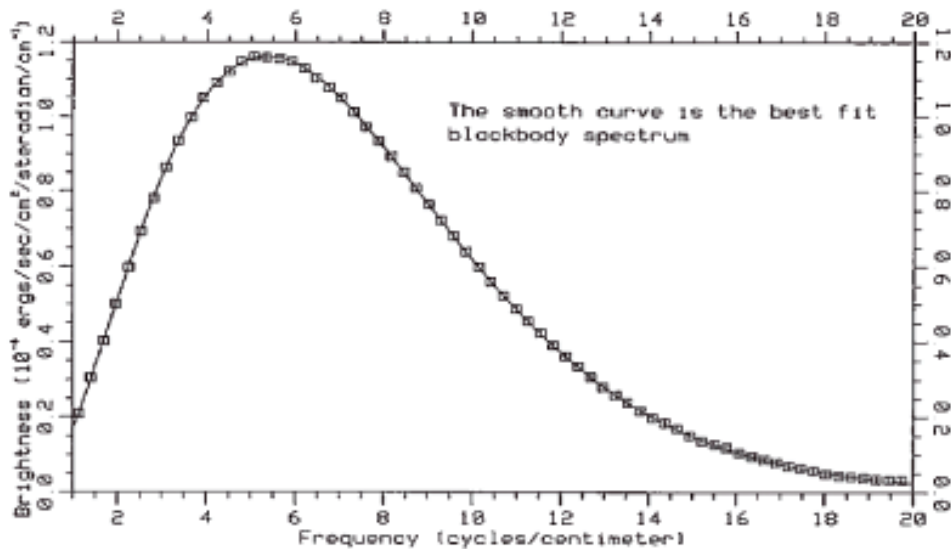
On s'attend toutefois à trouver une distribution homogène à l'échelle du Gpc (Giga parsec, un milliard de parsecs).

## **Quels processus ont menés à une telle organisation ?**

Le modèle physique adopté par une grande majorité de physiciens pour décrire l'univers est celui du "Big Bang chaud". Ses multiples succès lui ont même conféré le titre de "modèle standard". Ce modèle, basé sur le principe cosmologique, suppose que l'univers est rempli d'un fluide homogène constitué de rayonnement (photons et neutrinos), de baryons (protons et neutrons, les constituants des noyaux des atomes) et d'électrons.

Les observations confirment que l'univers est actuellement en expansion. Au cours de cette expansion, son volume spatial augmente, sa température baisse. En remontant le cours du temps par la pensée, ce processus s'inverse. L'univers proviendrait ainsi d'une singularité géométrique où régnerait une pression, une densité d'énergie et une température infinies (d'où le nom de "Big Bang chaud"). Le modèle propose un récit décrivant l'univers d'une façon relativement satisfaisante, à partir du temps extraordinairement petit de  $10^{-43}$  secondes ; c'est le temps de Planck, temps à partir duquel la physique actuelle est valide.

La matière telle que nous la connaissons est née trois minutes après le Big Bang, au cours d'un processus appelé « nucléosynthèse primordiale ». Lors de ce processus, les noyaux légers se forment : les protons et neutrons se lient par la force nucléaire en noyaux légers comme l'hydrogène, le deutérium, l'hélium, le lithium. Les neutrinos sont déjà découplés du reste de l'univers et ne joueront plus aucun rôle par la suite. Quant aux photons, ils interagissent principalement avec les électrons rebondissant dessus comme des boules de billard qui s'entrechoquent. La fréquence de ces interactions est telle que les photons ne peuvent pas se propager librement. L'univers est donc un corps opaque qui n'émet pas de lumière. On dit que c'est un "corps noir", en équilibre thermique.

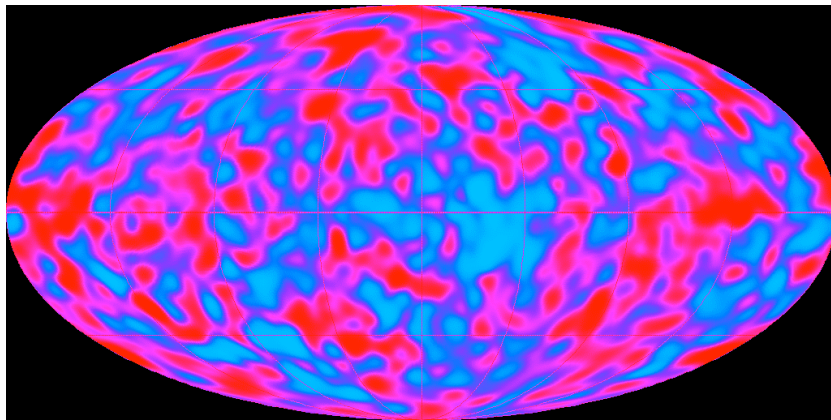


*Mesures par l'instrument FIRAS, du satellite COBE (Mather et Al. 1990), du spectre du corps noir du fonds diffus cosmologique.*

Beaucoup plus tard, alors que le Big Bang est un événement déjà vieux d'environ quatre cent mille ans, les électrons se lient aux noyaux (composés de baryons) pour former des atomes. Les interactions avec les photons se font alors beaucoup plus rares et ces derniers sont désormais libres. Ils sont aujourd'hui détectés sous la forme d'un rayonnement d'une température de 3K (environ -270°C) et dont la longueur d'onde associée est millimétrique. La densité numérique de ces photons est d'environ 400 par  $\text{cm}^3$ . Ce rayonnement est plus connu sous le nom de rayonnement fossile, rayonnement de fond cosmologique ou encore rayonnement à 3K.

L'époque d'émission de ces photons, événement très particulier de l'histoire de l'Univers, est celle de la "recombinaison" pour les baryons et les électrons, et du découplage pour les photons. L'univers ne connaît alors plus de phase remarquable jusqu'à la formation des galaxies.

Il est possible de mesurer la température de cette radiation (directement liée à son intensité) dans toutes les directions et nous obtenons l'image ci-dessous.



*Image des anisotropies du fond diffus cosmologique mesurée par l'instrument DMR, du satellite COBE (Smoot et Al. 1992),*

Il s'agit de la première photographie de l'univers, quand il était âgé de seulement quelques centaines de milliers d'années. La température moyenne de ce rayonnement est de 2,73 K (-270 °C). Les fluctuations qui apparaissent sont très faibles puisqu'elles sont de l'ordre de :

$$\Delta T/T=10^{-5}$$

Ce qui signifie qu'il s'agit d'un rayonnement pratiquement homogène. Ces très légers écarts à l'homogénéité parfaite sont considérés comme étant responsables de la formation des galaxies, après croissance par instabilité gravitationnelle.