



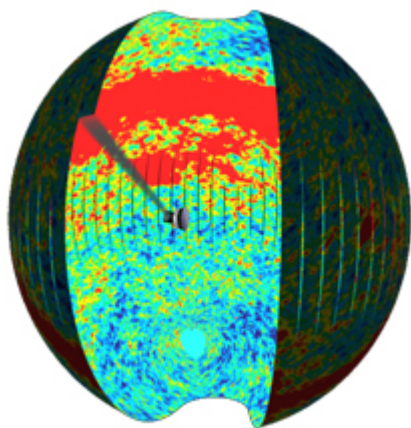
Le son cosmique

Dossier de Francois-Xavier Désert

Illustration audio du traitement de données de Planck et de la carte du **rayonnement fossile**

Voici deux manières d'illustrer le **rayonnement fossile** avec des sons plutôt que des images. Tout d'abord on peut utiliser des sons pour comprendre le traitement de données de Planck. Ensuite, on peut "écouter" la meilleure carte du rayonnement fossile actuellement disponible, celle du satellite WMAP.

1- Commençons par les données temporelles de Planck



Les étapes du traitement des données peuvent être illustrées de la manière auditive suivante. Nous utilisons ici une simulation réaliste par ordinateur.

La sortie numérique du détecteur en fonction du temps s'appelle une **TOI (time-ordered information)**. Puisque le satellite Planck tourne autour de lui-même à raison d'un tour par minute, le faisceau observé balaye le **ciel** et lit la position pointée toutes les 5 millisecondes environ.

Nous pouvons transformer le signal en son. La fondamentale du signal du ciel est cependant inaudible (un infrason de 17 milliHz). Nous avons donc décidé de changer l'échelle des fréquences par un facteur multiplicatif donné (20 000) et ainsi nous pouvons clairement entendre la fondamentale à 333Hz.

Deux jours de données d'un détecteur se trouvent comprimées en un son de huit secondes seulement !

- **Le signal-son** que nous obtenons de la télémétrie, provenant de l'antenne du satellite, distant de 1,5 million de kilomètres de la Terre, semble être incompréhensible...

- **Le signal brut** après application d'une démodulation, sonne ainsi :

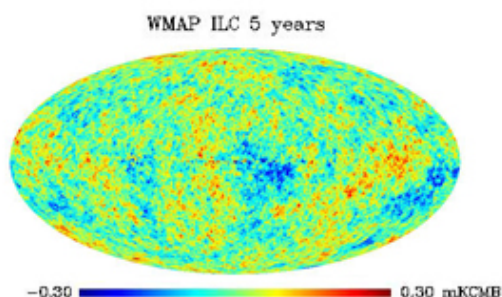
Au moins peut-on entendre la fondamentale mais aussi une kyrielle d'autres choses, un peu comme un vieux microsillon rayé (pour les jeunes un disque 33 tours d'avant les CDs). Dans le centre de réduction des données, les mesures sont traitées de façon à pouvoir "écouter" le balayage de la première image émise par l'**Univers**, quelques 380 000 ans après le **Big-Bang**.

Le son clair doit ressembler à quelque chose comme ceci:

La réduction inclut la soustraction des pics de bruit (provenant de l'impact des rayons cosmiques sur le détecteur à intervalles aléatoires) et du bruit (par moyennage).

- Les données sont étalonnées en unités de température en utilisant le signal en forme de dipôle qui est produit par notre déplacement particulier au travers de l'Univers (un simple effet Doppler comme le son d'une ambulance qui se rapproche et puis s'éloigne). Cela s'entend comme un son sinusoïdal parfait (comme le son d'une flûte) à la fréquence fondamentale.
- L'émission de notre **galaxie** la Voie Lactée se voit comme une bande large lumineuse dans les cartes. Ce son doit être enlevé d'une certaine façon afin d'écouter le Big-Bang. D'un autre point de vue, il est très utile pour localiser les régions dans notre Galaxie où de nouvelles étoiles sont juste en train de naître.

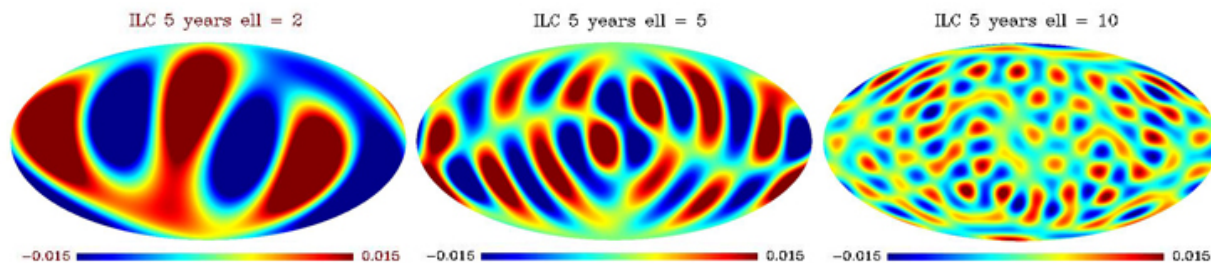
2- Maintenant écoutons la carte du rayonnement fossile



La meilleure carte du rayonnement fossile a jusqu'à présent été obtenue grâce à la mission WMAP. Cette carte de l'ensemble du ciel (projection de la sphère céleste) peut se décomposer en modes correspondant aux différentes échelles angulaires.

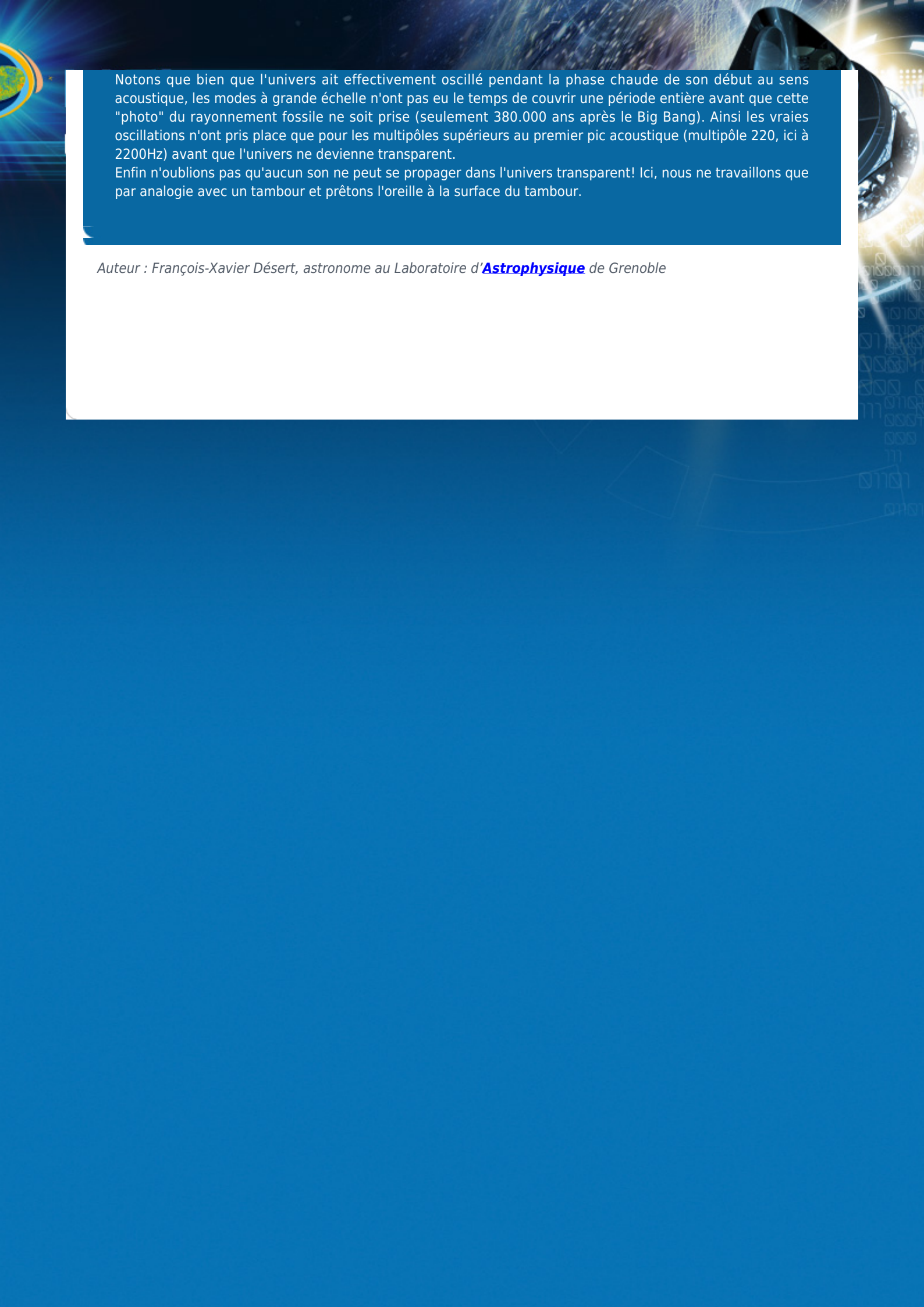
Le premier mode a été ôté de cette carte. Il est un peu spécial car il sert à l'étalonnage, c'est à dire à connaître la température d'un point du ciel en fonction de la puissance reçue dans un détecteur.

Le second mode et les autres peuvent être obtenus par une transformation en harmoniques sphériques.



- En voici le son : faisons osciller chaque mode avec une fréquence proportionnelle à son multipôle. Ici, prenons 400Hz pour un multipôle de 40. Nous pouvons alors "ausculter" à un certain endroit de cette carte oscillante, qui ressemble à un "tambour cosmique".

Dans ce son, l'endroit d'écoute est changé toutes les 3 secondes.

The background of the page is a dark blue space-themed image. It features a bright, glowing celestial body on the right side, possibly a star or a galaxy core, with light rays emanating from it. On the left, there are faint, colorful streaks and patterns, suggesting a nebula or a distant galaxy. The overall aesthetic is scientific and futuristic. A semi-transparent blue rectangular box is positioned in the upper left quadrant, containing white text. The text discusses the acoustic modes of the early universe and the propagation of sound in a transparent universe.

Notons que bien que l'univers ait effectivement oscillé pendant la phase chaude de son début au sens acoustique, les modes à grande échelle n'ont pas eu le temps de couvrir une période entière avant que cette "photo" du rayonnement fossile ne soit prise (seulement 380.000 ans après le Big Bang). Ainsi les vraies oscillations n'ont pris place que pour les multipôles supérieurs au premier pic acoustique (multipôle 220, ici à 2200Hz) avant que l'univers ne devienne transparent.
Enfin n'oublions pas qu'aucun son ne peut se propager dans l'univers transparent! Ici, nous ne travaillons que par analogie avec un tambour et prêtons l'oreille à la surface du tambour.

Auteur : François-Xavier Désert, astronome au Laboratoire d'[Astrophysique](#) de Grenoble