

ANNALES « ZÉRO » N°1 - EX 1

Le satellite Planck (6 pts)

1. Synthèse : la mission « Planck »

Les astrophysiciens tirent des informations précieuses de l'étude du rayonnement électromagnétique en provenance de l'Univers tout entier. Le satellite Planck a été conçu pour détecter une partie de ce rayonnement afin de mieux connaître l'origine de l'Univers.

À l'aide des documents ci-dessous et en utilisant vos connaissances, rédiger, en 30 lignes maximum, une synthèse argumentée répondant à la problématique suivante :

« Comment les informations recueillies par le satellite Planck permettent-elles de cartographier "l'Univers fossile" ? »

Pour cela, présenter le satellite Planck et sa mission. Préciser ensuite les principales caractéristiques du rayonnement fossile (source, nature, intensité et direction, longueur d'onde dans le vide au maximum d'intensité λ_{\max}). Justifier alors l'intérêt de réaliser des mesures hors de l'atmosphère et conclure enfin sur la problématique posée, en expliquant notamment le lien entre cartographie du rayonnement et cartographie de l'Univers.

2. Analyse du mouvement du satellite Planck

Pour éviter la lumière parasite venant du Soleil, le satellite PLANCK a été mis en orbite de sorte que la Terre se trouve toujours entre le Soleil et le satellite. Les centres du Soleil, de la Terre et le satellite Planck sont toujours alignés.

La période de révolution de la Terre et celle du satellite autour du Soleil sont donc exactement les mêmes : 365 jours.

2.1. Représenter par un schéma les positions relatives du Soleil, de la Terre et de Planck.

2.2. Montrer, sans calcul, que cette configuration semble en contradiction avec une loi physique connue.

2.3. Proposer une hypothèse permettant de lever cette contradiction.

Document 1 : Découverte du rayonnement fossile

En 1965, afin de capter les signaux de l'un des premiers satellites de télécommunication, deux jeunes radioastronomes du laboratoire de la Bell Telephone, Penzias et Wilson, entreprennent d'utiliser une antenne de 6 mètres installée sur la colline de Crawford, à Holmdel (USA). À leur grande surprise, les deux scientifiques tombent sur un étrange bruit de fond radio venant de toutes les directions du ciel.

La très faible intensité du signal détecté ne varie ni au fil du jour, ni au cours des saisons. Ce signal est étranger au Soleil et à la Voie Lactée.

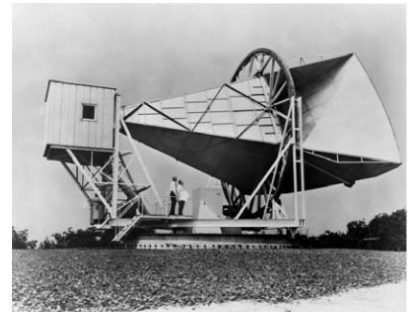
Penzias et Wilson viennent de détecter le « rayonnement fossile ». Ils reçoivent le prix Nobel en 1978.

Très vite, le rayonnement fossile procurera la « première image de l'Univers ». Il lèvera le voile sur une époque cruciale : quelques centaines de milliers d'années après le Big Bang. À cette époque, des grumeaux de matière sont déjà assemblés afin de constituer les embryons de nos galaxies.

À force d'analyse et de déduction, les spécialistes sont parvenus à retracer ce qu'a pu être le parcours du rayonnement cosmique :

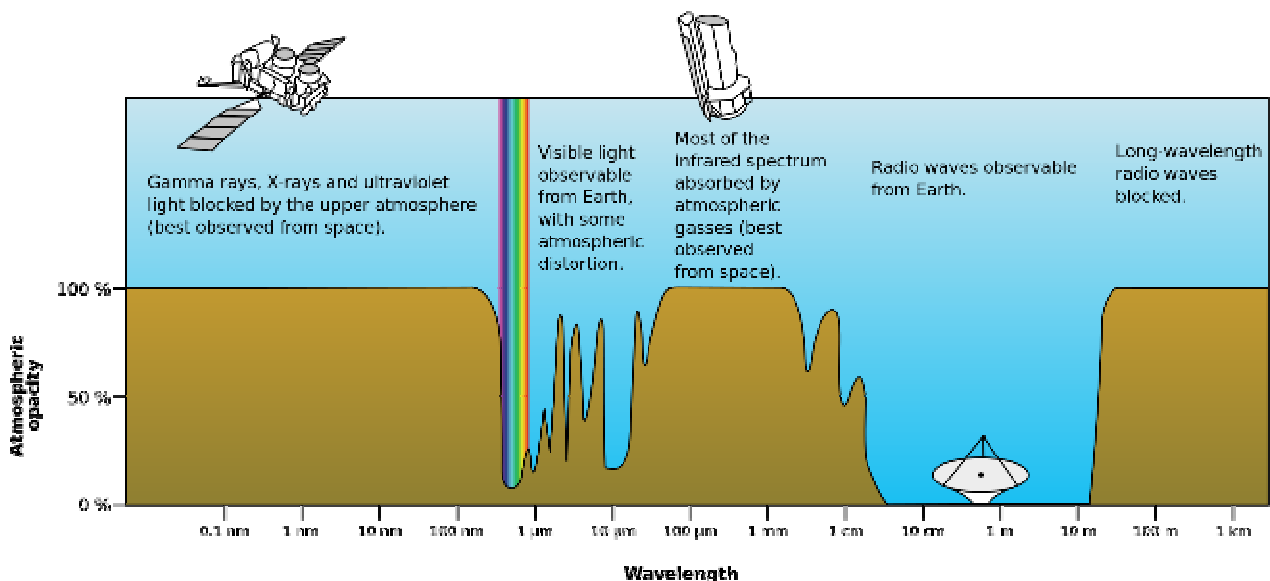
L'Univers a rapidement été composé de matière « ionisée » dans laquelle la lumière ne se propage pas ; les grains de lumière, les photons, se heurtent aux particules, sans cesse absorbés puis réémis en tout sens. Le cosmos se comporte alors comme un épais brouillard.

Puis l'Univers se dilate, la température s'abaisse. Pour une valeur de la température de l'ordre de 3×10^3 K, les électrons s'assemblent aux protons. On entre alors dans l'ère de la matière neutre : les charges électriques s'apparient et se compensent. Les atomes se créent. L'Univers devient transparent : quelques centaines de milliers d'années après le Big Bang, le rayonnement émis par l'Univers se comportant comme un corps noir peut alors se propager librement. Le rayonnement fossile détecté de nos jours a ainsi cheminé pendant près de quatorze milliards d'années. Durant cette période, l'Univers s'est dilaté, expliquant ainsi que le rayonnement fossile perçu à l'heure actuelle correspond au rayonnement émis par un corps noir à la température de 3 K.



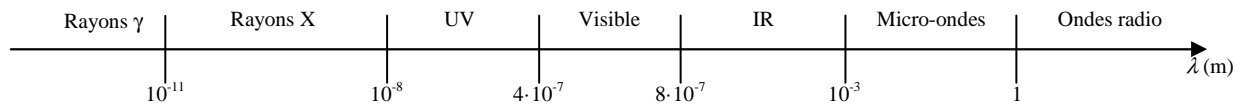
D'après <http://www.cnrs.fr>

Document 2 : Atmospheric opacity versus wavelength



Document 3 : Matière et rayonnement

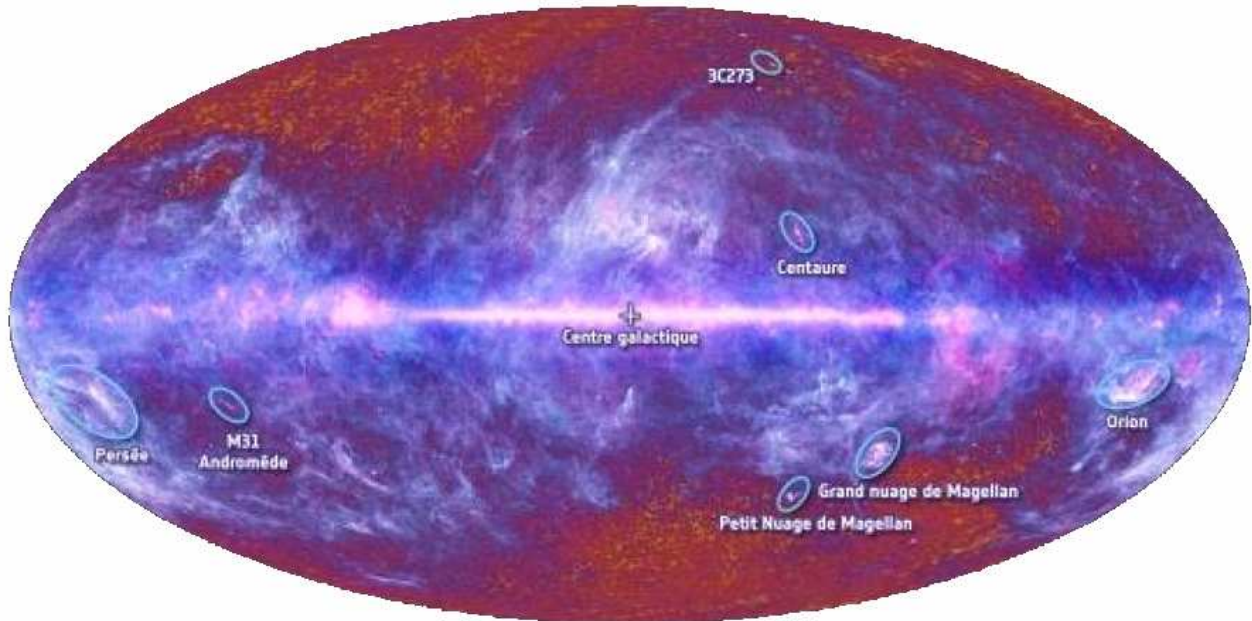
- Loi de Wien : $\lambda_{\max} \cdot T = A$, A est une constante telle que $A = 2,9 \text{ mm} \cdot \text{K}$.
 λ_{\max} est la longueur d'onde dans le vide au maximum d'intensité émise par le corps noir de température T.
- L'intensité du rayonnement émis par une source dépend de sa densité de matière.

Document 4 : Domaines du spectre électromagnétique en fonction de la longueur d'onde (échelle non respectée)**Document 5 : Lancement du satellite Planck**

Le satellite Planck a été lancé le 14 mai 2009 par Ariane 5 depuis le Centre Spatial Guyanais à Kourou. Les premières observations du ciel ont commencé le 13 août 2009 pour 15 mois de balayage du ciel sans interruption.

Planck balaie l'intégralité du ciel et fournit une cartographie du rayonnement cosmique fossile.

Le signal détecté varie légèrement en fonction de la direction d'observation.



L'analyse du signal permet de révéler l'inhomogénéité de l'Univers primordial. Ces observations donnent des informations uniques sur l'origine et l'assemblage des galaxies, et permettent de tester différentes hypothèses sur le déroulement des premiers instants qui ont suivi le Big Bang.

D'après des communiqués de presse du CNES

Correction

1. Synthèse - La mission Planck

(4,5 pts)

Introduction

[0,5 pt]

Présentation du satellite (année et lieu de lancement)
De sa mission : recueillir des informations sur l'origine de l'Univers

Caractéristiques du rayonnement

[2 pts]

Source : l'Univers primitif devenu transparent, se comportant comme un corps noir.

Nature : rayonnement électromagnétique.

Intensité et direction : intensité constante au cours du temps, provient de toutes les directions du ciel.

Longueur d'onde dans le vide : Corps noir à 3K => Valeur de la longueur d'onde $\lambda_{\max} = 1 \text{ mm}$ (loi de Wien).

Rayonnement à la frontière **entre IR et onde radio**.

Pourquoi hors de l'atmosphère

[1 pt]

L'atmosphère est totalement opaque à la longueur d'onde $\lambda = 1 \text{ mm}$ → Nécessité de capter ce rayonnement hors atmosphère.

Conclusion

[0,5 pt]

Capter le rayonnement fossile dans toutes les directions donne des informations sur sa source, l'univers fossile, donc d'en dresser une carte présentant les inhomogénéités (ou « grumeaux ») selon la direction d'observation.

Soin apporté à la rédaction, français

[0,5 pt]

Exemple de synthèse :

Le satellite Planck a été mis en orbite, en 2009, par Ariane 5. Il est équipé de différents capteurs permettant de détecter le rayonnement fossile. Par un balayage systématique du ciel, il a pour mission de recueillir des informations sur l'origine de l'Univers et l'assemblage des galaxies.

Le rayonnement fossile détecté par le satellite est un rayonnement électromagnétique émis par l'Univers, se comportant comme un corps noir, quelques centaines de milliers d'années après le Big-Bang. Ce rayonnement provient de toutes les directions du ciel avec une intensité constante dans le temps.

À cause de la dilatation de l'Univers, ce rayonnement correspond aujourd'hui au rayonnement d'un corps à la température de 3K.

D'après la loi de Wien, $\lambda_{\max} = A / T \Leftrightarrow \lambda_{\max} = 2,9 / 3 = 0,96 \text{ mm}$. Ce rayonnement a une longueur d'onde dans le vide de l'ordre de 1 mm. Il s'agit donc d'un rayonnement à la frontière entre infrarouge et ondes radio (document 4).

Les rayonnements de cette longueur d'onde sont presque totalement absorbés par l'atmosphère terrestre, comme l'indique le document 2. Cela explique l'intérêt de placer les capteurs hors de l'atmosphère pour réaliser la cartographie de l'Univers.

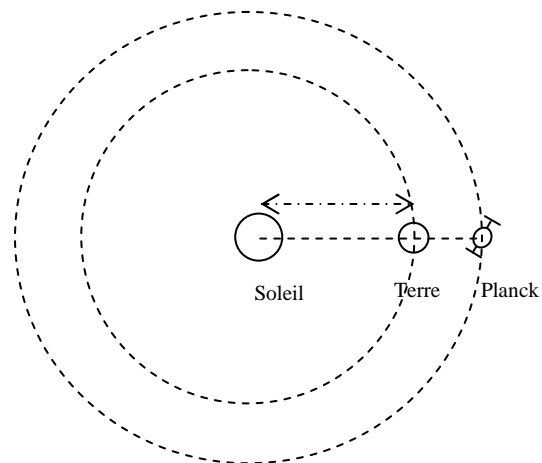
Le rayonnement fossile a été émis par l'Univers primitif lorsqu'il est devenu transparent. L'intensité de ce rayonnement, capté par le satellite Planck, dépend de la densité de l'univers primitif dans la direction pointée. Cette observation permet donc de mesurer les inhomogénéités de densité de matière de l'Univers quelques centaines de milliers d'années après le Big-bang, et d'en dresser une véritable carte.

2. Analyse du mouvement du satellite Planck

(2 pts)

1. Schéma de la configuration Soleil, Terre, Planck

[0,25 pt]



2. Selon la troisième loi de Kepler, $T^2 / a^3 = \text{constante}$

T : période de révolution du corps autour du Soleil

a : demi grand axe de son orbite.

La Terre et le satellite Planck, en orbite autour du Soleil, étant à des distances différentes, devraient avoir des périodes de révolution différentes. Ceci est en contradiction avec l'alignement des trois corps célestes à tout instant. [0,75 pt]

3. La force gravitationnelle exercée par la Terre sur Planck n'est pas à négliger par rapport à la force exercée par le Soleil, la troisième loi de Kepler ne s'applique donc pas (système à trois corps) [0,5 pt]