

## Correction Exercices Satellites

### ENONCE : La Lune. Troisième loi de Képler

On admet que la Lune décrit une trajectoire circulaire, de rayon  $r = 384000$  km, autour de la Terre.

La Terre est assimilée à une sphère de masse  $M = 6,0 \times 10^{24}$  kg et de rayon  $R = 6400$  km.

- **1** Définir le référentiel géocentrique.
- **2** Calculer, dans le référentiel ci-dessus, la vitesse  $v$  de la lune et sa période de révolution  $T$ .

Constante de gravitation universelle :

$G = 6,67 \times 10^{-11}$  S.I. (Système international d'unités)

- **3** Etablir la troisième loi de Képler  $T^2 / r^3 = 4 \pi^2 / G.M$ .

En déduire la période de révolution du télescope Hubble qui gravite autour de la Terre à l'altitude  $h = 600$  km.

## SATELLITE GEOSTATIONNAIRE

### ENONCE : Satellite géostationnaire

Un satellite géostationnaire reste constamment au dessus d'un point de la terre.

- **1-** A quel plan son orbite doit-elle appartenir ?
- **2-** Calculer sa période, sa vitesse et son altitude dans le référentiel géocentrique dont on rappellera la définition.

On donne :

- le rayon terrestre  $R_0 = 6400$  km
- la valeur du champ de gravitation au niveau du sol  $g_0 = 9,8$  N / kg

– la durée d'un  $T = 23 \text{ h } 56 \text{ min.}$

(Le référentiel terrestre n'est pas Galiléen car le satellite géostationnaire, bien que soumis à la force d'attraction de la Terre, reste au repos dans ce référentiel)

## **ENONCE : Le satellite Planck**

### **■ 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.

### **Les documents utiles à la résolution sont donnés ci-dessous**

– A l'aide des documents 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  $\lambda_{\text{max}}$ ). 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.

- Représenter par un schéma les positions relatives du Soleil, de la Terre et de Planck.
- Montrer, sans calcul, que cette configuration semble en contradiction avec une loi physique connue.
- Proposer une hypothèse permettant de lever cette contradiction.

## DOCUMENTS DE L'EXERCICE

### 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.

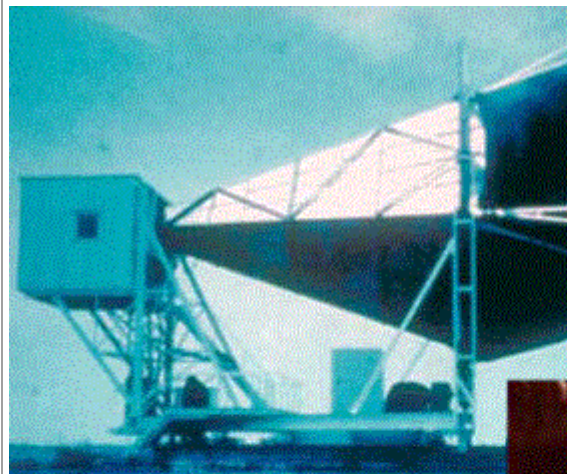
La très faible intensité du signal détecté ne varie ni au fil du jour, ni au cours des saisons. Ce signal est étranger au Soleil et à la Voie Lactée.

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



Robert Wilson

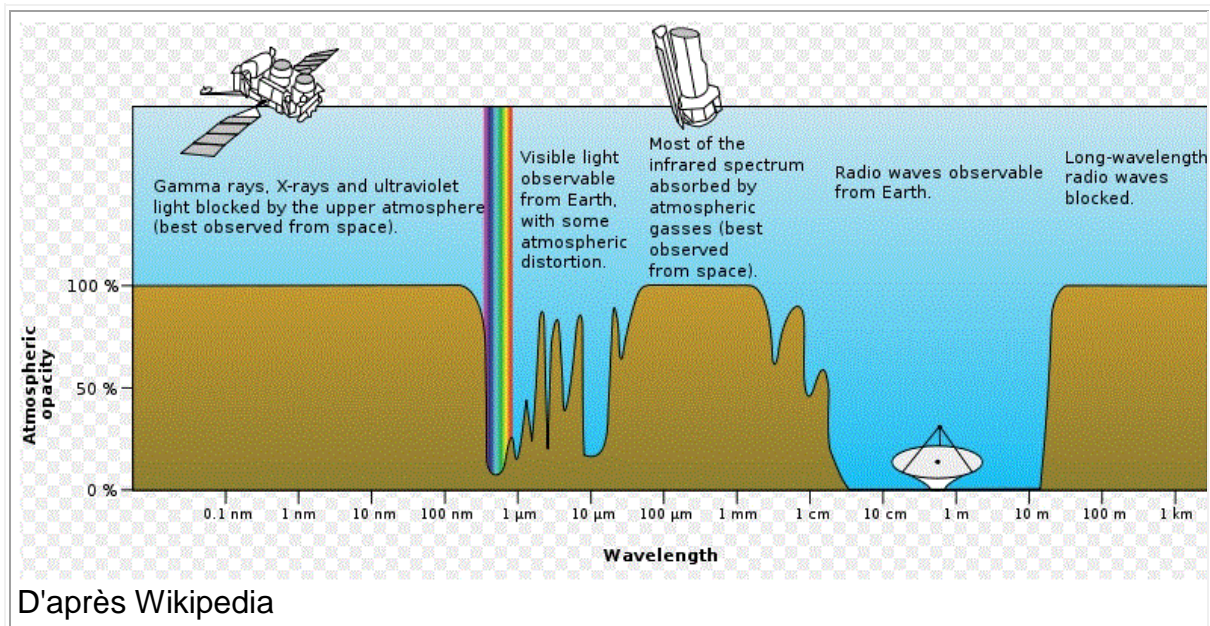


ne se propage pas ; les grains de lumière, les photons, se heurtent aux particules, sans cesse absorbés puis réémis en tout sens. Le cosmos se comporte alors comme un épais brouillard.

Puis l'Univers se dilate, la température s'abaisse. Pour une valeur de la température de l'ordre de  $3 \times 10^3$  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  $T = 3$  K**.

D'après  
[http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbig/deco uv/xcroire/rayFoss/niv1\\_1.htm](http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosbig/deco uv/xcroire/rayFoss/niv1_1.htm)

**Document 2** : Atmospheric opacity versus wavelength (Opacité de l'atmosphère en fonction de la longueur d'onde)



### Document 3 : Matière et rayonnement

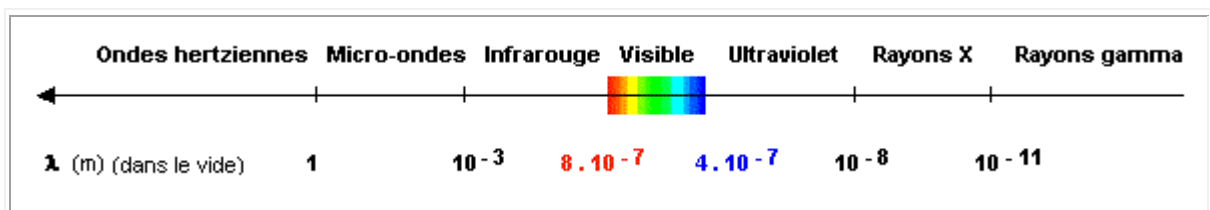
– Loi de Wien :  $\lambda_{\max} \cdot T = A$

A est une constante telle que  $A = 2,9 \text{ mm} \cdot \text{K}$

$\lambda_{\max}$  est la longueur d'onde dans le vide au maximum d'intensité émise par le corps noir de température T.

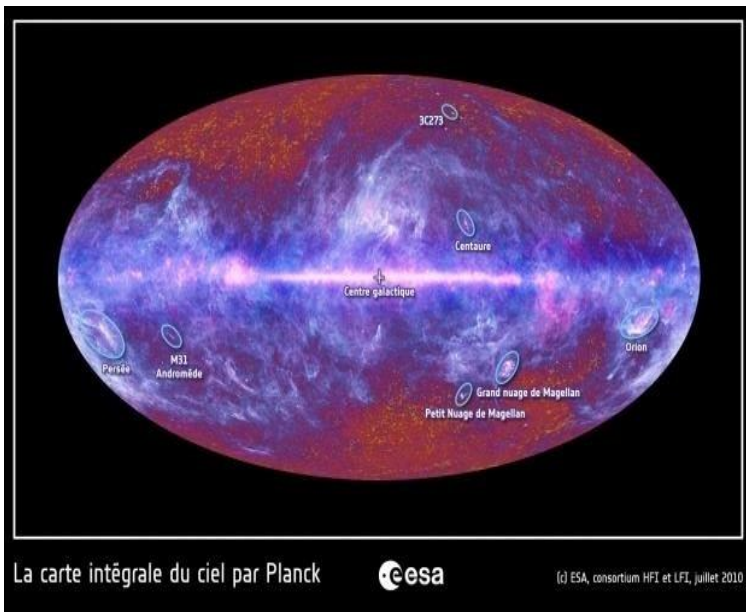
– L'intensité du rayonnement émis par une source dépend de sa densité de matière.

### Document 4 : Domaines du spectre électromagnétique en fonction de la longueur d'onde $\lambda$ (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

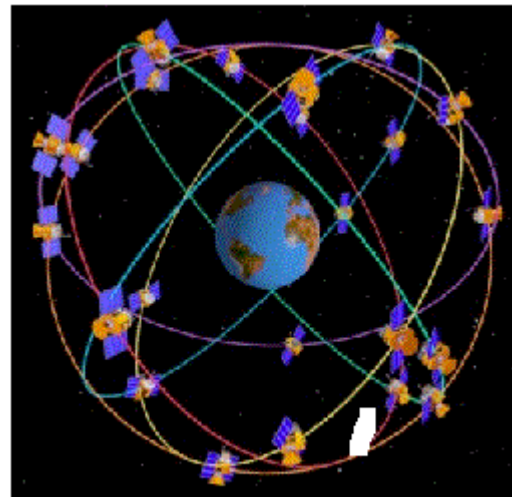
## PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN GPS

## ENONCE

Le nom officiel du GPS (Global Positioning System) est originellement NAVSTAR (Navigation System by Timing and Ranging). Il fut imaginé et mis au point par le département de la défense américaine qui envoya dans l'espace la première génération de satellites à partir de 1978. Depuis lors, celui-ci a largement fait ses preuves et le système GPS actuel comporte une trentaine de satellites en orbites quasi circulaires faisant inlassablement deux révolutions par jour autour de la Terre.

### Données :

- Célérité de la lumière dans le vide  
..... $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
- Altitude moyenne des satellites GPS  
..... $h = 2,00 \times 10^4 \text{ km}$
- Masse de la Terre  
..... $M_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$
- Rayon de la Terre  
..... $R_T = 6,38 \times 10^3 \text{ km}$
- Constante de gravitation universelle  
..... $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}.\text{s}^{-2}$
- 1 octet = 8 bit



Orbites des satellites GPS

## Document 1 : Fonctionnement général du GPS

### Principe de la localisation

On peut déterminer la position d'un point à partir de sa distance à d'autres points. Par exemple, supposons que nous soyons perdus quelque part en France, si nous passons devant un panneau indiquant que **Paris est à 150 km** sans en donner la direction, nous sommes situés quelque part sur un cercle centré sur Paris et de rayon 150 km. Si par ailleurs un autre panneau nous indique **Orléans 230 km**, nous sommes sur un cercle centré sur Orléans et de rayon 230 km. Il suffit donc de tracer ces deux cercles et de voir où ils se coupent. Généralement, ils se coupent en deux

points (Dieppe et Sainte-Menehould dans notre exemple) et nous avons donc besoin d'une troisième indication afin d'éliminer l'un des deux points.

### Mesure de la distance satellite/récepteur

Un satellite GPS envoie très régulièrement un signal électromagnétique indiquant l'heure de l'émission du signal de manière très précise, ainsi que des informations sur la position du satellite. Le récepteur n'a plus qu'à comparer l'heure de réception à celle de l'émission pour calculer le temps de parcours du signal et en déduire la distance le séparant du satellite.

Pour bénéficier d'une précision de 10 m dans la direction de propagation du signal électromagnétique envoyé par un satellite GPS, le récepteur GPS doit mesurer la durée de trajet de ce signal avec une précision d'environ 30 ns. Cette précision extrême nécessite de prendre en compte des effets relativistes. La non prise en compte de ces effets entraînerait une avance des horloges des satellites sur les horloges terrestres d'environ  $38 \mu\text{s} = 3,8 \times 10^{-5} \text{ s}$  par jour.

### Caractéristiques du signal GPS

Les informations sont envoyées par le satellite sous la forme d'un signal binaire avec un débit très faible :  $50 \text{ bit.s}^{-1}$ . Dans la pratique, le GPS garde en mémoire les paramètres du calcul de position reçus avant son dernier arrêt et reprend par défaut ces paramètres, lors de sa mise en marche. Ainsi, la mise à jour est d'autant plus rapide qu'on utilise son GPS fréquemment.

En réalité, le récepteur GPS reçoit en permanence des informations de plusieurs satellites, sur une même fréquence. **Pour distinguer les satellites les uns des autres, on a attribué à chacun un code, appelé code C/A qui se présente sous la forme de séquences binaires répétées de 1 et de 0. Le message GPS est superposé à ce code et, lors de la réception du message, le récepteur pourra, grâce au code, identifier le satellite source et traduire le signal pour en connaître le message.**

La superposition du code C/A et du message consiste simplement à inverser les 0 et les 1 du code lorsque le bit du message vaut 1 et à ne pas les modifier lorsque le bit du message vaut 0. Un exemple de signal reçu par le GPS est représenté en **ANNEXE 2**.

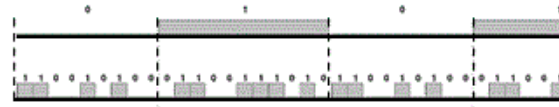


## ANNEXE 1

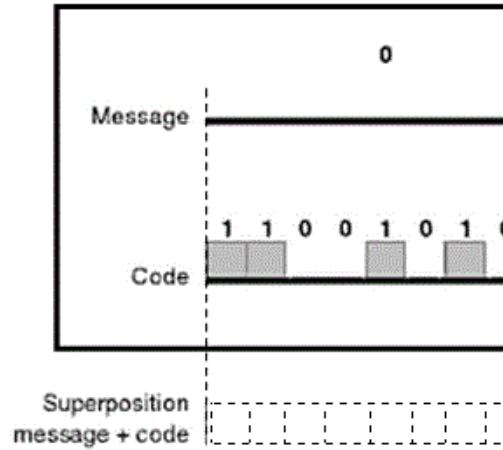


## ANNEXE 2

### Document 2 - Message GPS



Le cadre ci-dessous est le zoom du signal p



### 1- A propos de la localisation

Sortant tout juste d'une ville française, un automobiliste voit un panneau indiquant **Lyon à 240 km** et **Nancy à 340 km**. Déterminer graphiquement, à l'aide de la carte fournie en **ANNEXE 1** (à rendre avec la copie) la ville où il se trouve. Justifier.

### 2- Etude du mouvement d'un satellite

Le mouvement du satellite est étudié dans le référentiel géocentrique supposé galiléen. Ce référentiel est associé au centre de la Terre ainsi qu'à trois étoiles lointaines, considérées comme fixes.

**2-1** En supposant que son orbite est circulaire, montrer que le mouvement d'un satellite GPS de masse  $m$  est uniforme.

$$v = \sqrt{\frac{GM_T}{R_T + h}} \quad \text{et}$$

**2-2** Montrer que l'expression de la vitesse du satellite est

**2-3** Etablir l'expression de la période de révolution d'un satellite GPS. Calculer sa valeur et vérifier qu'elle est compatible avec l'information du texte d'introduction.

### ■ 3- Précision des mesures

**3-1** Justifier par le calcul la phrase suivante : " Pour bénéficier d'une précision de 10 m dans la direction de propagation du signal électromagnétique envoyé par un satellite GPS, le récepteur GPS doit mesurer la durée de trajet de ce signal avec une précision d'environ 30 ns.

**3-2** Quelle est la durée de parcours du signal électromagnétique ? En déduire la précision relative sur la mesure de cette durée.

**3-3** . Si on ne tenait pas compte des effets relativistes, quel serait le décalage temporel entre les horloges terrestres et celles du satellite GPS au bout d'une journée ? En déduire la durée nécessaire pour que les horloges terrestres et celle du satellite GPS soient significativement désynchronisées, c'est-à-dire pour qu'elles soient décalées de 30 ns.

### ■ 4- Etude du signal GPS

**4-1** Sachant que le message GPS contenant les paramètres de calcul a une taille d'environ 4,5 ko, calculer la durée nécessaire à l'envoi de l'intégralité de ce message par le satellite lors de la mise en marche du GPS. Commenter cette durée surprenante en s'appuyant sur le document " Fonctionnement général du GPS ".

**4-2** En ANNEXE 2 (à rendre avec la copie) est donné un exemple de message GPS et de code C/A. Compléter cette annexe par 0 ou 1 en effectuant la superposition " message + code " comme cela est indiqué dans le document " Fonctionnement général du GPS " ci-dessus.

