

Document 1 : NAVSTAR 67, un stellite GPS

Real time position



Launch data:

GPS-2F 3 (Navstar 67, USA 239)

Designation	38833 / 12053A
Launch date	04 Oct 2012 - 12:10 UT
Launch site	CC, SLC-37B
Launch vehicle	Delta-4M+(4.2)
Mission	Navigation
Earth orbit:	
Perigee / Apogee	20417 x 20437 km
Eccentricity	
Inclination	55.0 deg
Period	727.6 min

équateur

Fig2

Document 2 : données diverses3^e loi de KEPLER

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

- T est la période de l'objet,
- a est le demi grand axe de la trajectoire elliptique
- G est la constante de la gravitation universelle,
- M est la somme des masses des deux objets.

Constante de gravitation universelle: $G = 6,7384 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ Masse de la Terre : $M = 5,9736 \times 10^{24} \text{ kg}$ Rayon de la Terre : $R_t = 6371 \text{ km}$ Période de rotation de la Terre : $T_r = 23 \text{ h } 56 \text{ min } 4 \text{ s}$ Vitesse de la lumière : $c = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Facteur de Lorentz

v/c est le rapport de la vitesse
v du mobile considéré à la
vitesse de la lumière dans le
vide.

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$$

Document 3 : l'unité de temps

SI brochure, section 2.1.1.3 (et Supplément 2000)

Bureau International des Poids et Mesures

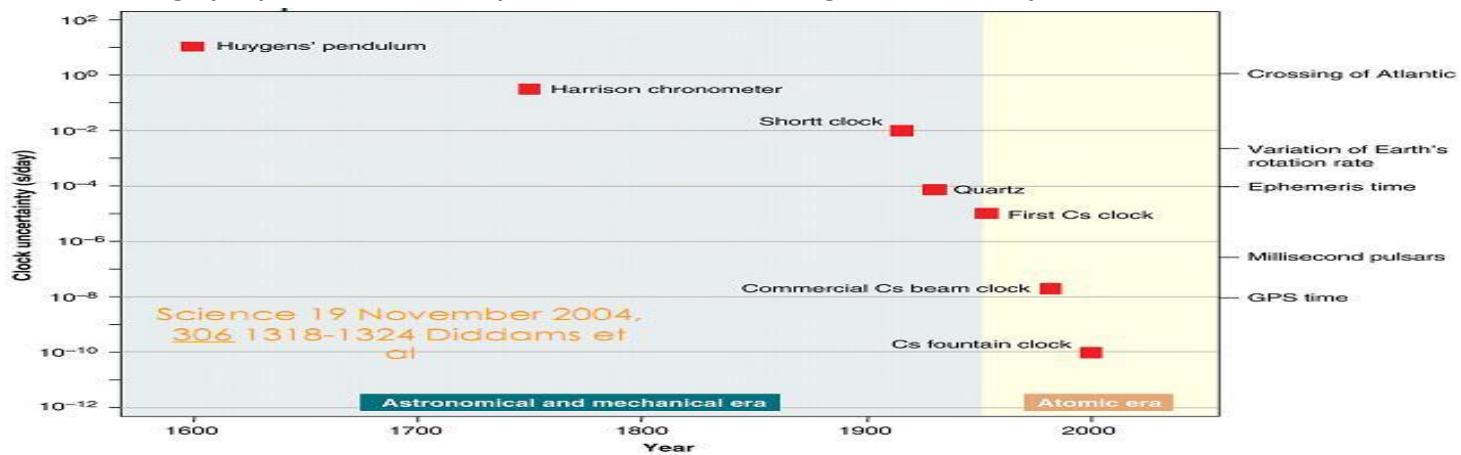
Unité de temps (seconde)

La seconde, unité de temps, fut définie à l'origine comme la fraction 1/86 400 du jour solaire moyen. La définition exacte du «jour solaire moyen» était laissée aux astronomes. Toutefois, leurs travaux ont montré que le jour solaire moyen ne présentait pas les garanties voulues d'exactitude par suite des irrégularités de la rotation de la Terre. Pour donner plus de précision à la définition de l'unité de temps, la 11^e CGPM (1960 ; CR, 86) sanctionna une définition, donnée par l'Union astronomique internationale, qui était fondée sur l'année tropique. Cependant, les recherches expérimentales avaient déjà montré qu'un étalon atomique d'intervalle de temps, fondé sur une transition entre deux niveaux d'énergie d'un atome ou d'une molécule, pouvait être réalisé et reproduit avec une exactitude beaucoup plus élevée. Considérant qu'une définition de haute précision de l'unité de temps du Système international était indispensable, la 13^e CGPM (1967-1968, Résolution 1 ; CR, 103 et Metrologia, 1968, 4, 43) a remplacé la définition de la seconde par la suivante :

La seconde est la durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre les deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césum 133.

Lors de sa session de 1997, le Comité international a confirmé que :

Cette définition se réfère à un atome de césum au repos, à une température de 0 K.

Document 4 : graphique évolution de la précision de diverses horloges : dérive en s/jour

Document 5 correction GPS

Les signaux transmis par les satellites GPS sont pilotés par une horloge atomique d'une grande précision. Ce n'est pas le cas des récepteurs qui sont équipés d'une horloge à quartz. Celles-ci n'ont ni l'exactitude ni la stabilité d'une horloge atomique et donc dérivent avec le temps. Chaque satellite envoie un message de correction afin d'obtenir le temps GPS exact. L'écart entre le temps GPS et le temps d'une horloge d'un récepteur peut se mettre sous la forme :

$$\Delta t = \frac{1}{c} (\rho_R^s + \Delta_{\rho}^{\text{iono}} + \Delta_{\rho}^{\text{tropo}} + \Delta_{\rho}^{\text{rot}} - R_R^s) + \Delta t^s + \Delta t^e + \Delta t_{\text{rel}}$$

Avec :

- c : la vitesse de la lumière dans le vide ;
- ρ_R^s : la distance réelle entre le récepteur et le satellite ;
- $\Delta_{\rho}^{\text{iono}}$: la correction ionosphérique calculée par le modèle ;
- $\Delta_{\rho}^{\text{tropo}}$: la correction troposphérique calculée par le modèle ;
- $\Delta_{\rho}^{\text{rot}}$: l'erreur due à la rotation de la Terre pendant le temps de trajet du signal ;
- R_R^s : la pseudo distance mesurée (sans tenir compte de la synchronisation) ;
- Δt^s : l'écart entre le temps GPS et le temps de l'horloge satellite ;
- Δt^e : le retard dû au récepteur (antenne, câble, circuits) ;
- Δt_{rel} : la correction relativiste.

En l'absence d'obstacles, il reste cependant des facteurs de perturbation importants nécessitant une correction des résultats de calcul. Le premier est la traversée des couches basses de l'atmosphère, la troposphère. La présence d'humidité et les modifications de pression de la troposphère modifient l'indice de réfraction n et donc la vitesse et la direction de propagation du signal radio. Si le terme hydrostatique est actuellement bien connu, les perturbations dues à l'humidité nécessitent, pour être corrigées, la mesure du profil exact de vapeur d'eau en fonction de l'altitude, une information difficilement collectable, sauf par des moyens extrêmement onéreux comme les lidars, qui ne donnent que des résultats parcellaires. Les récepteurs courants intègrent un modèle de correction.

Document 6 : GPS

Le Global Positioning System est un système de géolocalisation américain accessible au grand public (comme le GLONASS russe). Il est assuré par une flotte de 24 satellites à plus de 20 000 km d'altitude, gravitant autour de la Terre à plus de 14 000 km/h.

Le récepteur GPS reçoit simultanément les signaux codés en provenance de plusieurs satellites situés à des distances différentes du lieu d'observation. Le décodage de ces signaux permet d'évaluer ces distances et d'en déduire la position du récepteur dans un référentiel géodésique connu (appelé WGS 84).

QUESTIONS :

1- NAVSTAR GPS-2F 3

- Dans quels référentiels sont décrites les trajectoires du satellite GPS-2F 3 dans les figures 1 et 2 ?
- Quelles conditions faut-il pour qu'un satellite soit géostationnaire ? Ce satellite l'est-il ?
- Ce satellite a-t-il une orbite parfaitement circulaire ?
- Calculer, à l'aide de la 3^e loi de KEPLER la valeur du demi grand axe de l'orbite de ce satellite en km. En déduire ce que représentent les données du tableau Perigee/Apogee et retrouver ainsi la valeur du demi grand-axe.
- En supposant son orbite quasiment circulaire calculer sa vitesse moyenne en m/s. Vérifier ce résultat.
- Sa période orbitale est-elle synchronisée d'une certaine façon avec la période de rotation de la Terre ?

2- Le TEMPS et sa précision

- En combien de temps une horloge basée sur le pendule de Huygens dérive-t-elle d'une seconde ? Même chose pour une horloge à fontaine atomique au césum.
- Quel phénomène physique permet de définir la seconde ?
- Peut-on dire que la fréquence des radiations de la transition des niveaux d'énergie de l'atome de césum est d'environ 9 GHz
- Pourquoi a-t-on abandonné la définition de la seconde à partir de phénomènes astronomiques ou des oscillations d'un pendule ?

3- GPS et relativité

- Quel est le postulat fondamental de la Relativité, établi par EINSTEIN en 1905, concernant la propagation des ondes électromagnétiques dans le vide ? Quel en est la conséquence ? Lorsqu'Albert Einstein énonce la théorie de la relativité restreinte, il ne dispose pas de preuves expérimentales : pourquoi ne viendront-elles que plus tard ?
- « L'intervalle de temps Δt_0 séparant deux événements dans un référentiel est mesuré par une quantité différente Δt dans un autre référentiel si celui ci est en mouvement par rapport au premier. Ainsi, une horloge en mouvement dans un référentiel semblera ralenti par rapport à une horloge identique et immobile dans ce référentiel. » Ecrire la relation entre Δt et Δt_0 . Calculer le décalage de temps pour $\Delta t_0=1s$ dans le cas d'un signal provenant du satellite GPS-2F 3.
- Quels sont les autres effets dont il convient de tenir compte pour expliquer l'écart entre le temps GPS et le temps d'une horloge d'un récepteur ?

« Une heure assis à côté d'une jolie femme semble durer une minute. Une minute assis sur un four brûlant semble durer une heure. C'est cela, la relativité. »

A. Einstein

