1- NAVSTAR GPS-2F 3

a. Dans quels référentiels sont décrites les trajectoires du satellite GPS-2F 3 dans les figures 1 et 2 ?

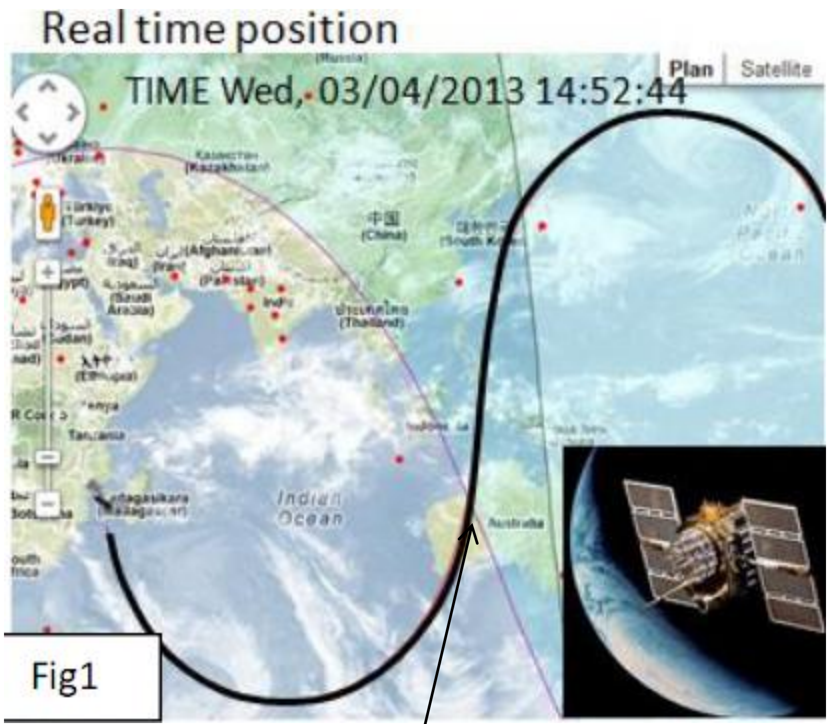


Fig1

Position du satellite par rapport à la surface de la Terre,
donc **référentiel terrestre**

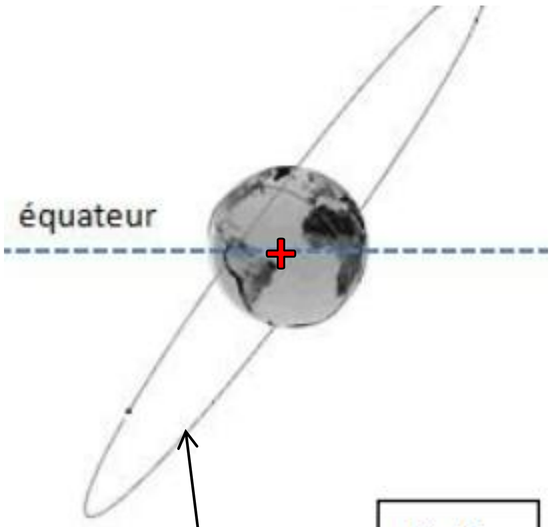
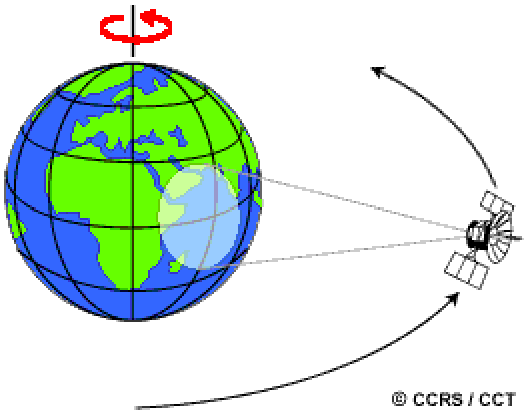


Fig2

Trajectoire par rapport au centre de la Terre pris comme point fixe
donc **référentiel géocentrique**

b. Quelles conditions faut-il pour qu'un satellite soit géostationnaire ? Ce satellite l'est-il ?



Un satellite géostationnaire doit avoir une orbite circulaire dans le plan de l'équateur et avoir une période de révolution égale à la période de rotation de la Terre soit 23h 58 min 4 s

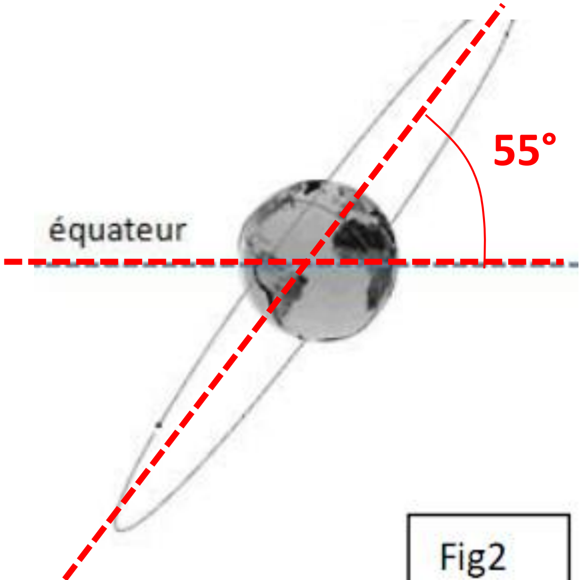


Fig2

L'orbite de Navstar 67 est incliné de 55° et n'a pas une période compatible, **ce n'est pas un satellite géostationnaire**

c. Ce satellite a-t-il une orbite parfaitement circulaire ?

Launch vehicle	Delta-4M+(4.2)
Mission	Navigation
Earth orbit	
Perigee / Apogee	20417 x 20437 km
Eccentricity	
Inclination	55.0 deg

Périgée et apogée sont légèrement différents donc l'orbite n'est pas parfaitement circulaire

d. 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.

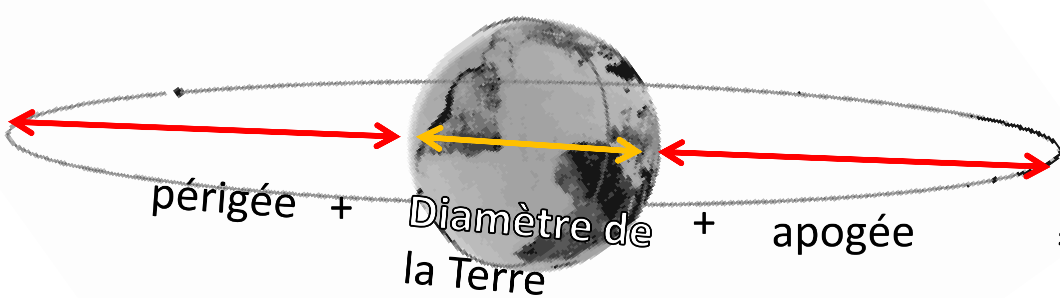
$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM} \qquad a = \left(\frac{T^2}{\frac{4\pi^2}{G.M}} \right)^{1/3}$$

Avec T= 727.6 min = 43656 s

a= 26798677.23 m = **26799 km** (avec chiffres significatifs cohérents)

Perigee / Apogee	20417 x 20437 km

Représentent donc l'altitude du satellite par rapport à la surface de la Terre



= 2 x demi-grand axe

$$\frac{\text{Périgée + apogée}}{2} + \text{rayon de la Terre} = a$$

$$\frac{20417 + 20437}{2} + 6371 = \mathbf{26798\ km}$$

e. En supposant son orbite quasiment circulaire calculer sa vitesse moyenne en m/s . Vérifier ce résultat.

Durée d'un tour complet = période de révolution = 727.6 min = 43656 s

R : Rayon moyen de l'orbite ≈ a = 26800 km

Trajet parcouru en un tour : d = 2πR = 168400 km

$$V = \frac{2\pi R}{T} = \frac{168400}{43656} = \mathbf{3.86\ km/s = 13900\ km/h}$$

Proche des 14000 km/h indiqué au document 6

Autre méthode : pour un satellite en mouvement circulaire : $V = \sqrt{\dfrac{G.M}{R}}$

f. Sa période orbitale est-elle synchronisée d'une certaine façon avec la période de rotation de la Terre ?

Période de rotation de la Terre : Tr = 23h 56min 4s =23x60 +56 +4 = **86164 s**

période de révolution du satellite = 727.6 min = **43656 s**

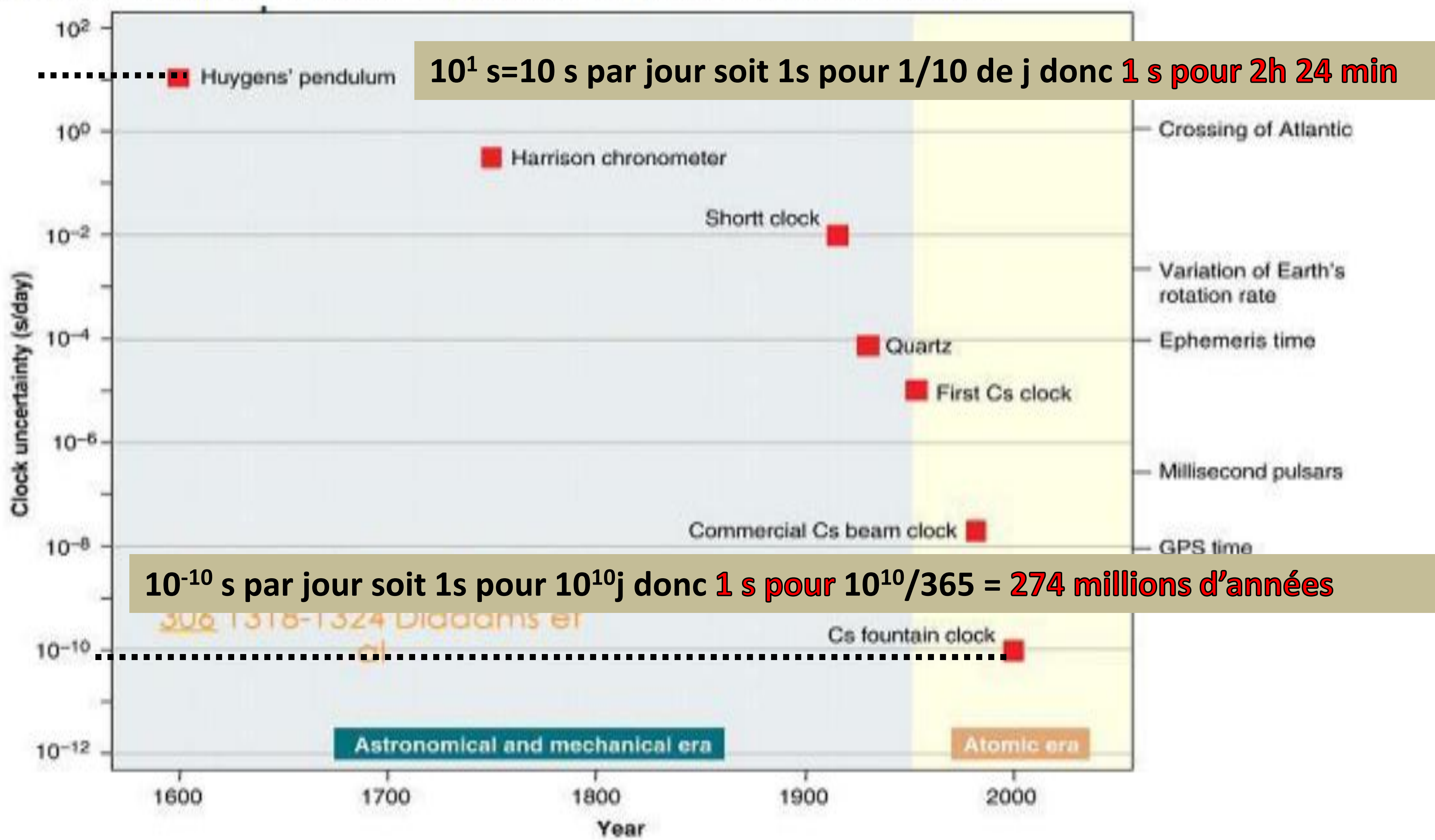
Rapport : $\dfrac{Tr}{T} = \dfrac{86164}{43656} = 1.97 = \mathbf{2}$

Le satellite fait 2 révolutions quand la Terre fait une rotation. chaque satellite se retrouve ainsi au dessus du même point après 2 rotations complètes.

2- Le TEMPS et sa précision

a. 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 césium.

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



10^{1} s=10 s par jour soit 1s pour 1/10 de j donc 1 s pour 2h 24 min

10^{-10} s par jour soit 1s pour 10^{10}j donc 1 s pour 10^{10}/365 = 274 millions d'années

b. Quel phénomène physique permet de définir la seconde ?

Document 3

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.

c. Peut-on dire que la fréquence des radiations de la transition des niveaux d'énergie de l'atome de césium est d'environ 9 GHz

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 césium 133.

Une fréquence ($f=1/T$) donne le nombre de périodes par unité de temps (s) donc la fréquence de la radiation émise est de 9 192 631 770 Hz soit environ 9×10^9 Hz = 9 GHz

d. Pourquoi a-t-on abandonné la définition de la seconde à partir de phénomènes astronomiques ou des oscillations d'un pendule ?

Voir document 3 :

<u>Phénomènes astronomiques:</u>

Le jour solaire moyen comme l'année tropique subissent de légères variations

<u>Oscillation d'un pendule:</u>

Manque de précision (voir question a) . De plus comme $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$

la valeur de T est soumise aux variations de g à la surface de la Terre et suivant l'altitude

3- GPS et relativité

a. 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 ?

La vitesse de la lumière dans le vide a la même valeur dans tous les référentiels inertiels (galiléens)

Conséquence, la durée mesurée d'un évènement dépend de la vitesse du référentiel (voir question suivante)

Ces effets sont négligeables pour des vitesses inférieures à c/2 donc il faut des horloges extrêmement précises qui n'existaient pas en 1905 (voir document 4)

b. « L'intervalle de temps Δt_0séparant 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 ralentie 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 $\Delta to=1s$ dans le cas d'un signal provenant du satellite GPS-2F 3.

$\Delta t = \dfrac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \Delta t_0$ = 1.00000000008265000 s donc écart de = **0.83 x 10^{-10} s**

c. 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 ?

Voir document 5

Δ_{ρ}^{iono} : la correction ionosphérique calculée par le modèle ;

Δ_{ρ}^{tropo} : la correction troposphérique calculée par le modèle ;

modification de l'indice de réfraction n par la haute atmosphère et **donc la vitesse** et la direction de propagation du signal radio.

Δ_{ρ}^{rot} : l'erreur due à la rotation de la Terre pendant le temps de trajet du signal ;

dt^{a} : le retard dû au récepteur (antenne, câble, circuits) ;

Le récepteur doit recaler son horloge sur le message envoyé par le satellite en tenant compte de la distance qui l'en sépare, des effets atmosphériques, de la rapidité de ses composants et connectiques, ainsi que de la relativité