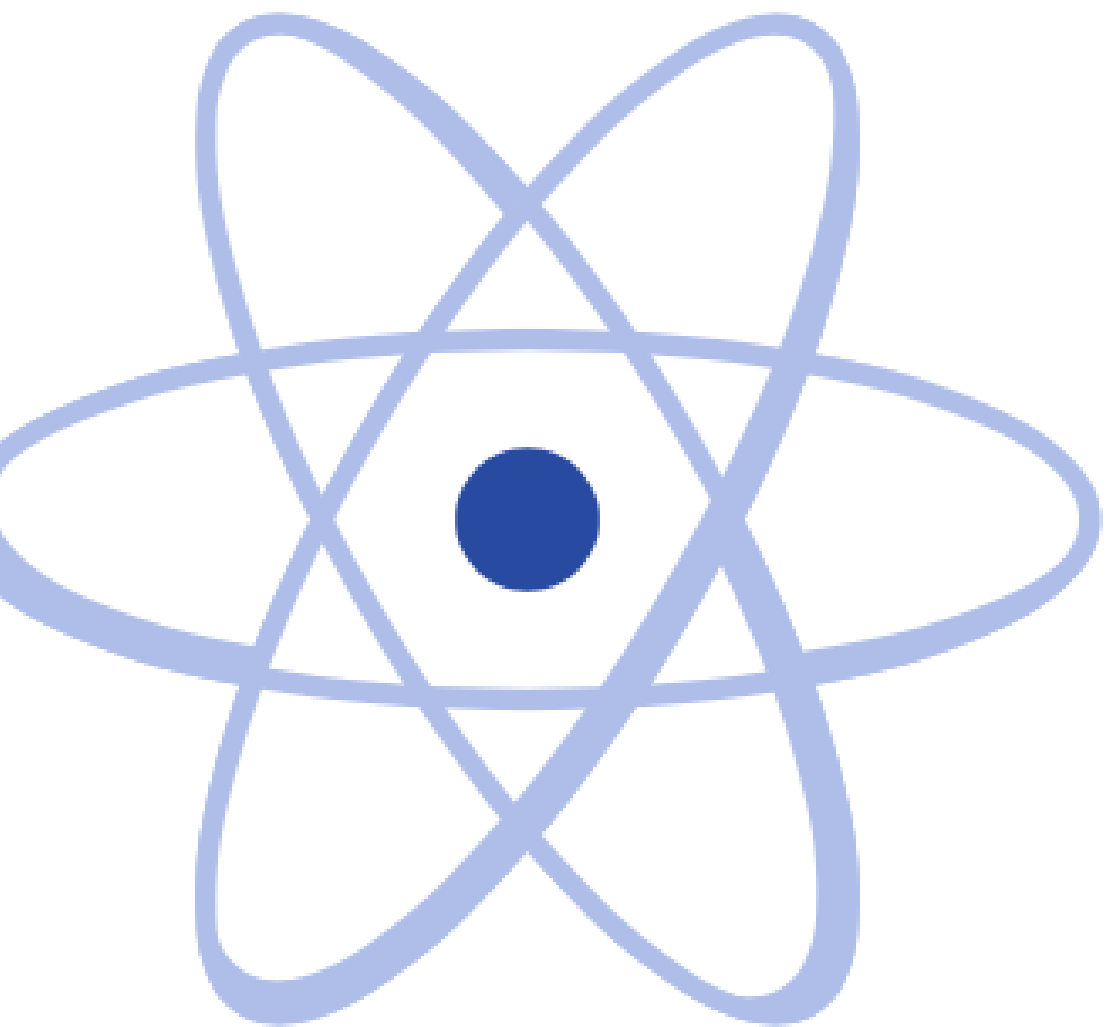




PHYSIQUE-CHIMIE

Terminale Spécialité

Mouvements de satellites et 2^e loi de Newton



Présentation de la séance

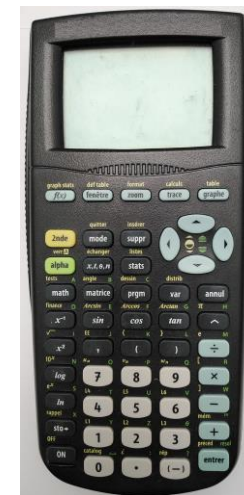
Des notions de mécanique

Remobiliser et compléter les connaissances de la classe de première

Utiliser la deuxième loi de Newton pour étudier le mouvement de satellites

Repère de Frenet

Satellite géostationnaire





Qui est cette personne ?



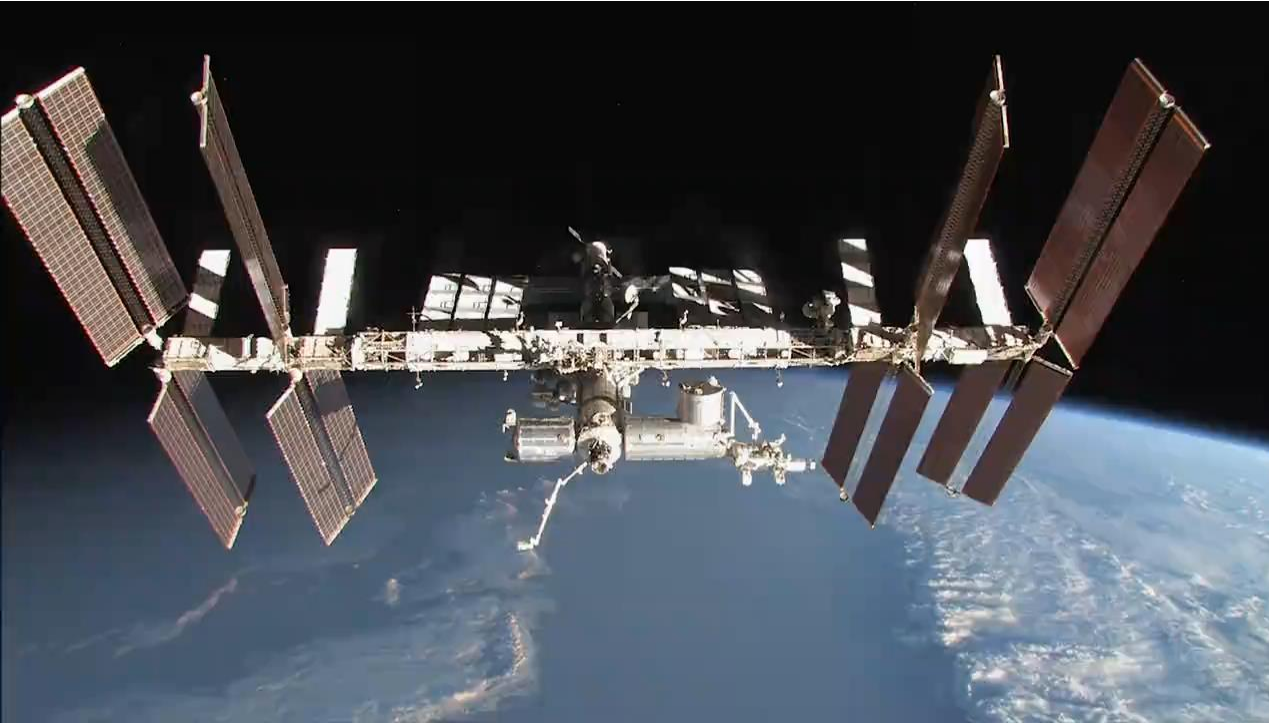


Thomas Pesquet : Célèbre astronaute français





Une vue imprenable !

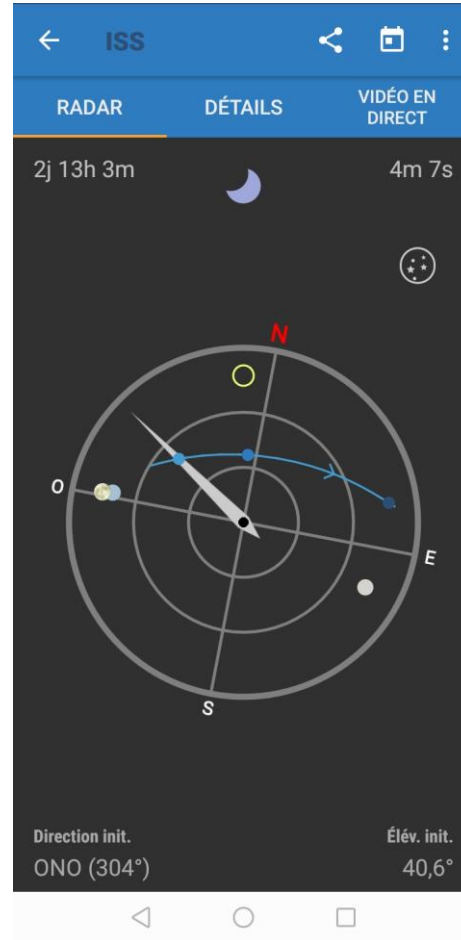




Tout savoir sur la station internationale



Observer la Terre grâce à la webcam de l'ISS



Observer le passage de l'ISS dans le ciel





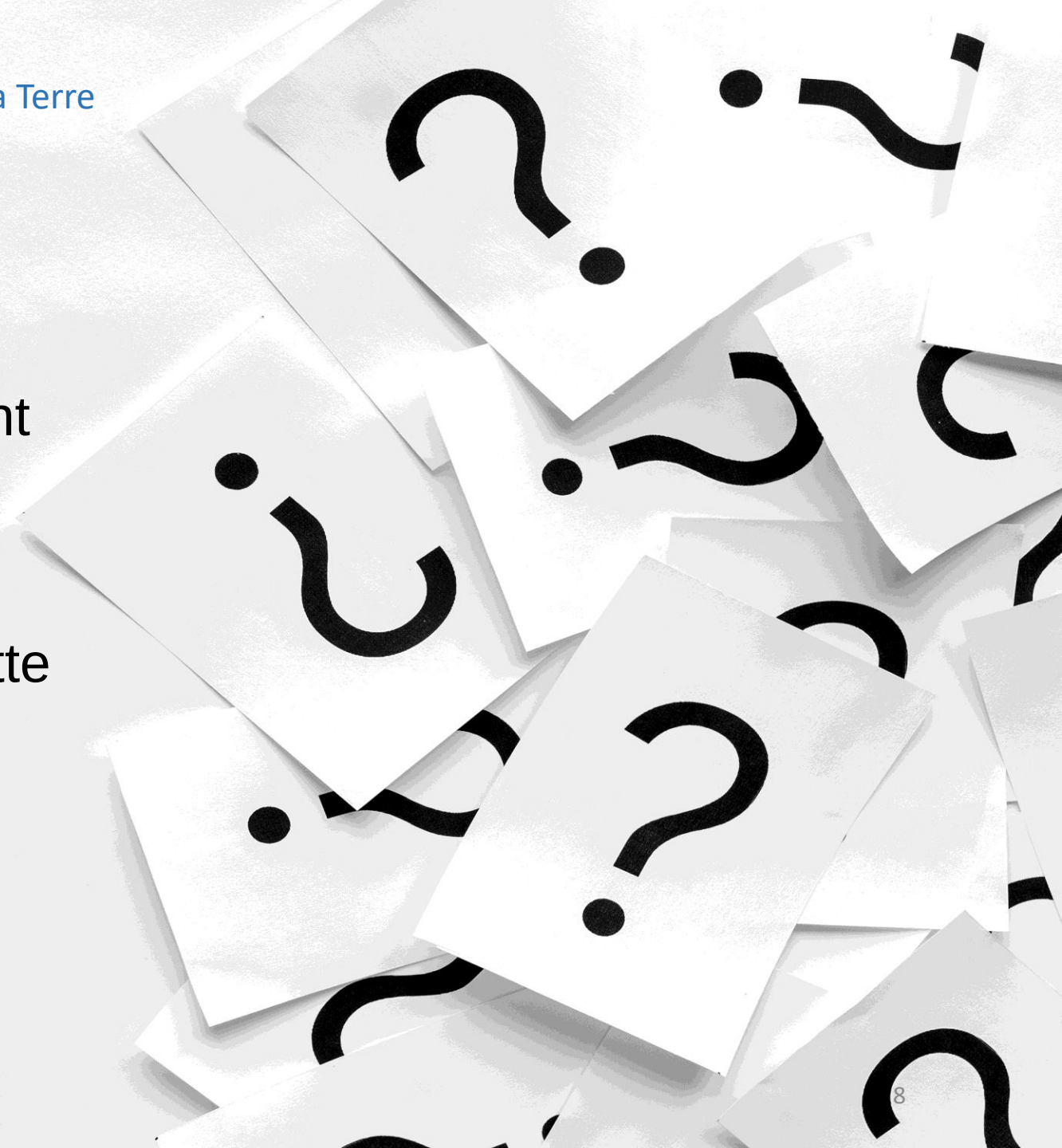
Suivre en direct le déplacement de l'ISS par rapport à la Terre





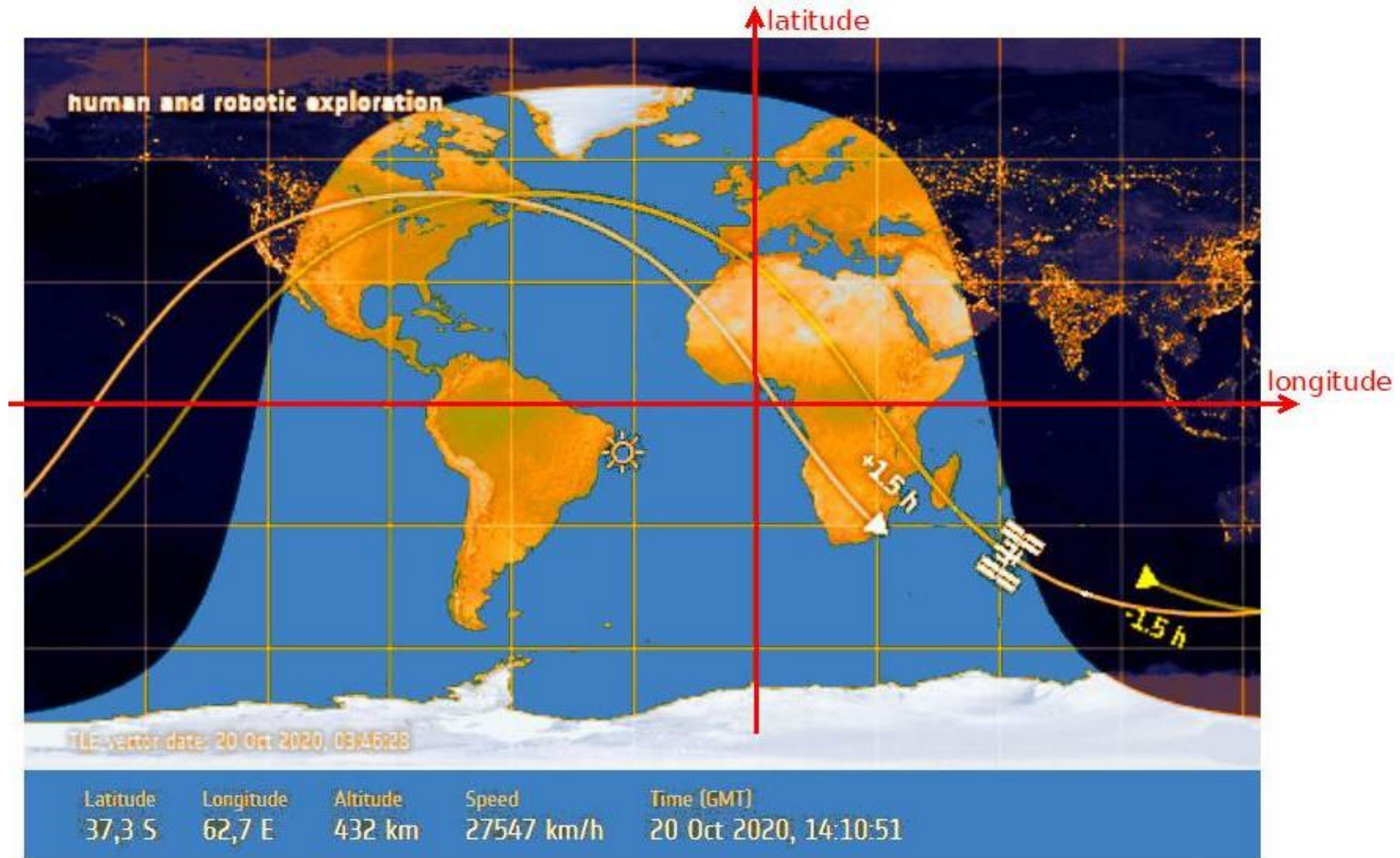
Quelle est la nature du mouvement de l'ISS autour de la Terre ?

Quels paramètres déterminent cette vitesse considérable ?



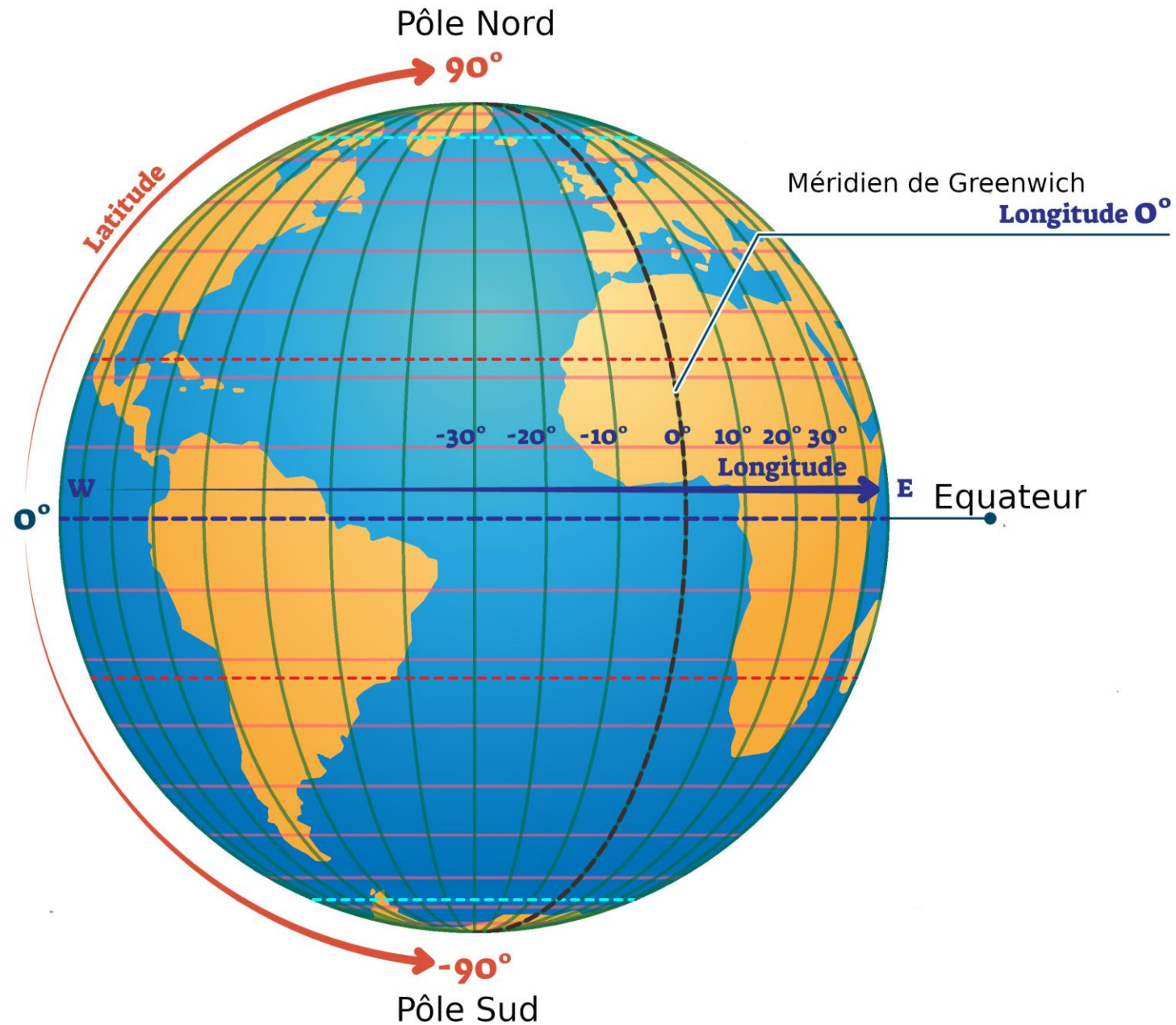


Comprendre le mouvement de l'ISS autour de la Terre





Repérer un point dans le référentiel terrestre





Récupérer les données et traiter les données avec Python

Latitude	Longitude	Altitude	Speed	Time (GMT)
29,9 S	163,4 W	428 km	27557 km/h	20 Oct 2020, 13:01:18

Latitude	Longitude	Altitude	Speed	Time (GMT)
27,3 S	160,8 W	427 km	27559 km/h	20 Oct 2020, 13:02:13

Latitude	Longitude	Altitude	Speed	Time (GMT)
24,5 S	158,1 W	426 km	27562 km/h	20 Oct 2020, 13:03:13

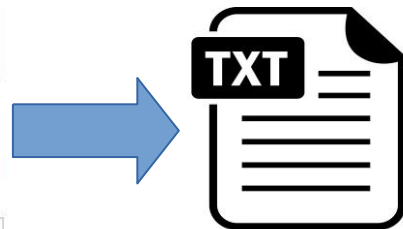
Latitude	Longitude	Altitude	Speed	Time (GMT)
21,8 S	155,7 W	425 km	27564 km/h	20 Oct 2020, 13:04:09

Latitude	Longitude	Altitude	Speed	Time (GMT)
18,4 S	152,8 W	423 km	27567 km/h	20 Oct 2020, 13:05:19

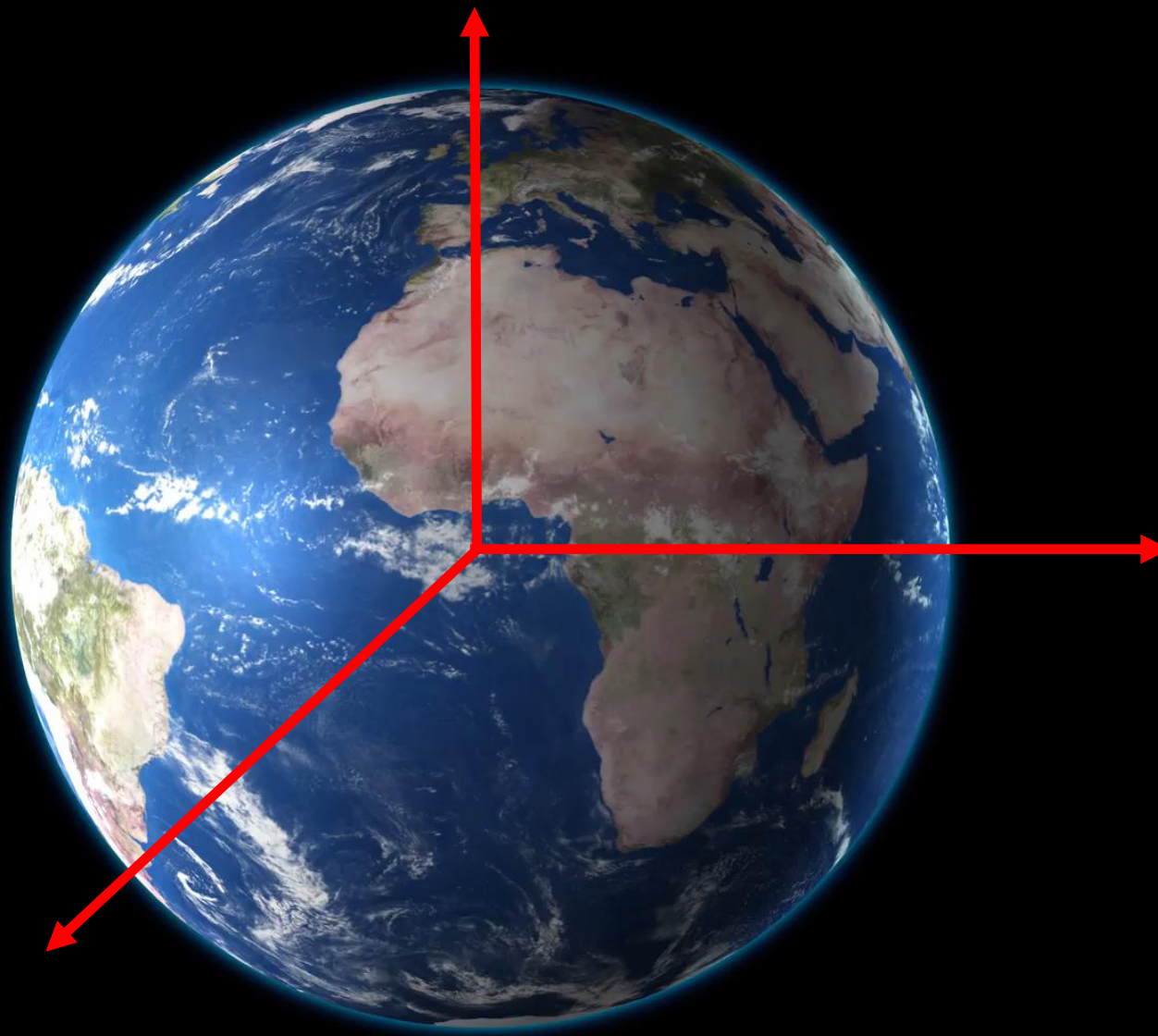
Latitude	Longitude	Altitude	Speed	Time (GMT)
15,2 S	150,2 W	422 km	27570 km/h	20 Oct 2020, 13:06:24

Latitude	Longitude	Altitude	Speed	Time (GMT)
12,4 S	148,1 W	422 km	27572 km/h	20 Oct 2020, 13:07:20

Latitude	Longitude	Altitude	Speed	Time (GMT)
9,9 S	146,2 W	421 km	27574 km/h	20 Oct 2020, 13:08:10

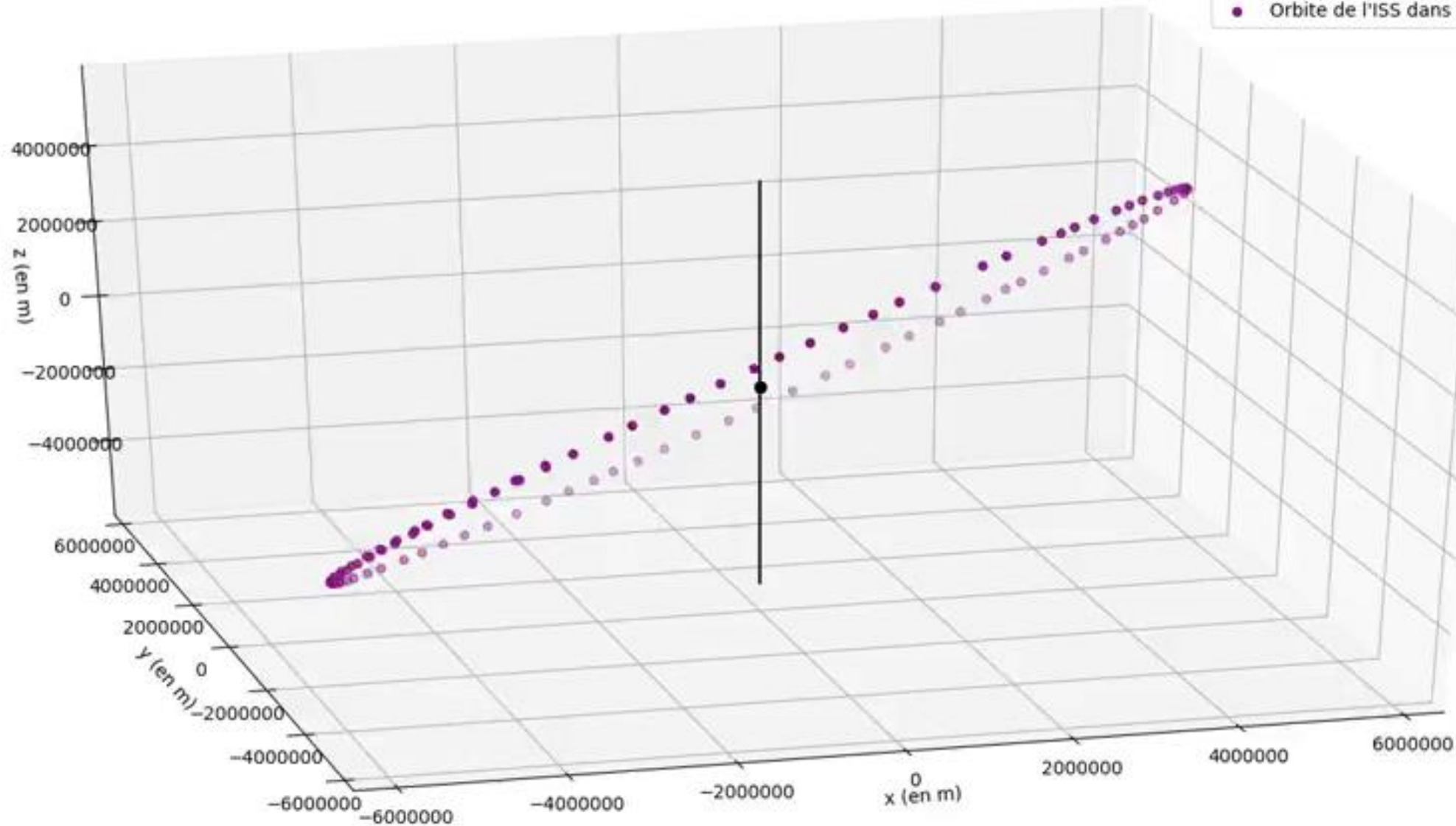


```
1 # Trajectoire de l'ISS
2 from datetime import datetime
3 import matplotlib.pyplot as plt
4 import numpy as np
5 from mpl_toolkits.mplot3d import Axes3D
6 plt.close('all')
7
8 #Ouverture du fichier .txt
9
10 fichier=open('iss.txt','r')
11 lecture=fichier.readlines()
12 #print(lecture)
13 #print(len(lecture))
14 fichier.close()
15
16
17 #mise en forme des données du fichier:
18 #Récupération des listes de données
19
20 donnees=[]
21 for i in range(len(lecture)):
22     if lecture[i][0]!='\xa0' and lecture[i]!='\n':
23         donnees.append(lecture[i].rstrip())
24
25 latitudes=[]
26 longitudes=[]
27 altitudes=[]
28 dates=[]
```

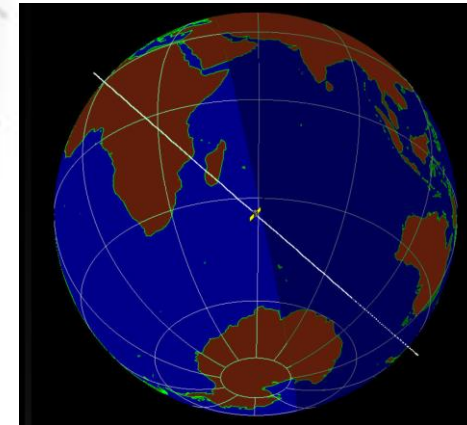





Trajectoire de l'ISS dans le référentiel géocentrique



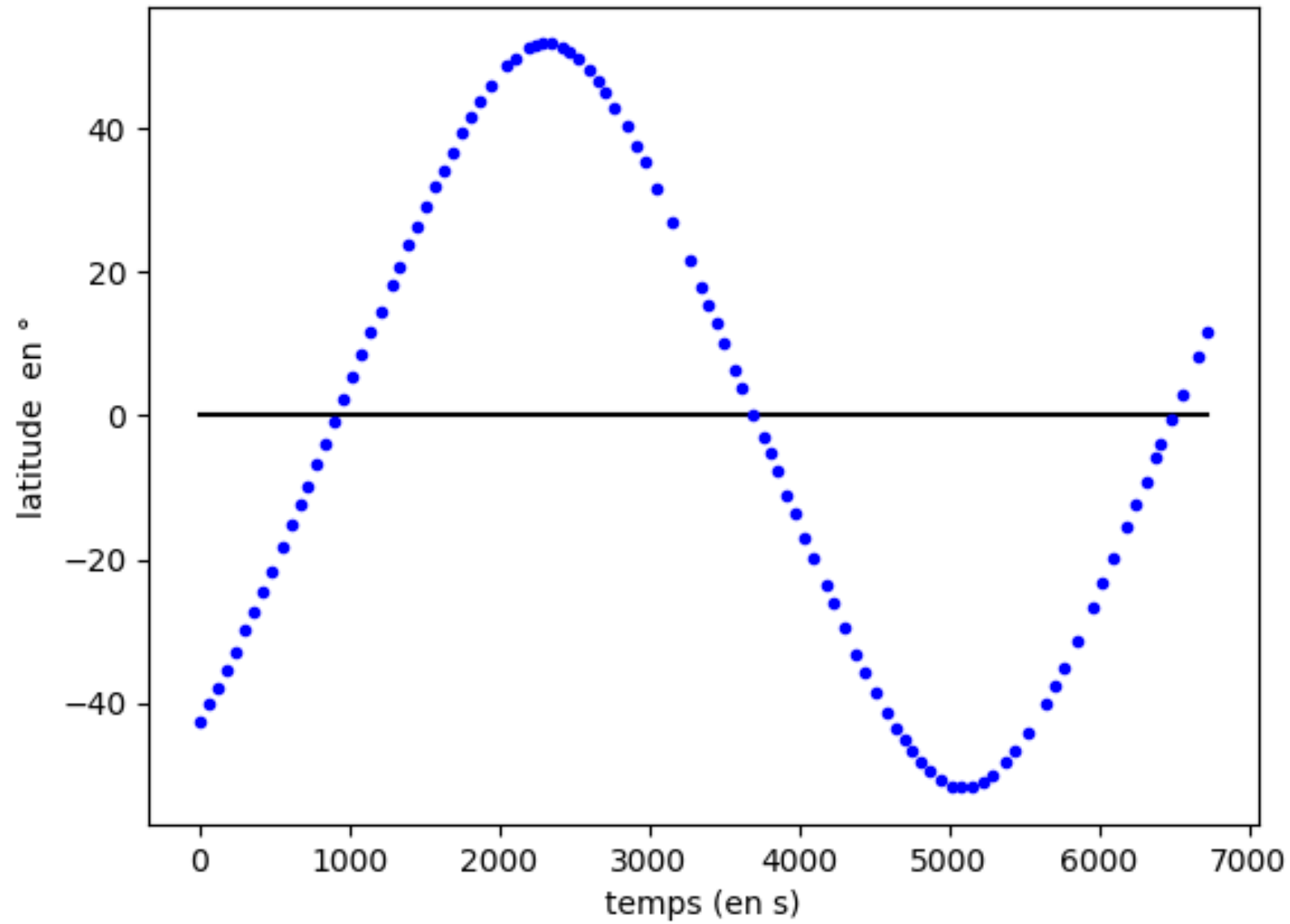
- Centre de la Terre
- Axe Nord-Sud
- Orbite de l'ISS dans le référentiel géocentrique



Orbite
circulaire

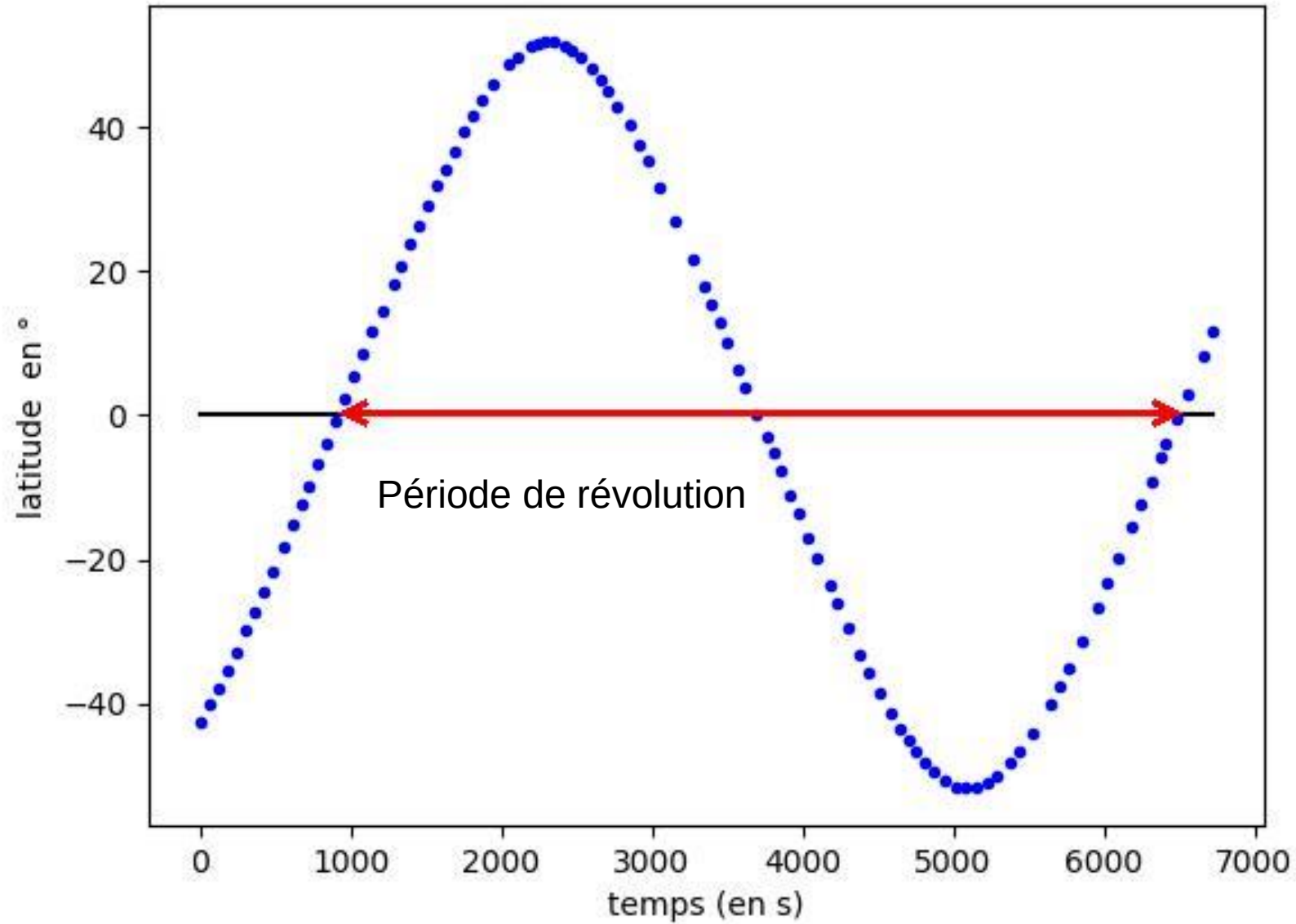


Période de révolution de la station spatiale autour de la Terre





Période de révolution de la station spatiale autour de la Terre



$$T_{\text{exp}} = (5576 \pm 10) \text{s}$$



Nature du mouvement de la station spatiale dans le référentiel géocentrique

(Latitudes,longitudes,altitudes,dates)



(x,y,z,t)



(v_x, v_y, v_z)

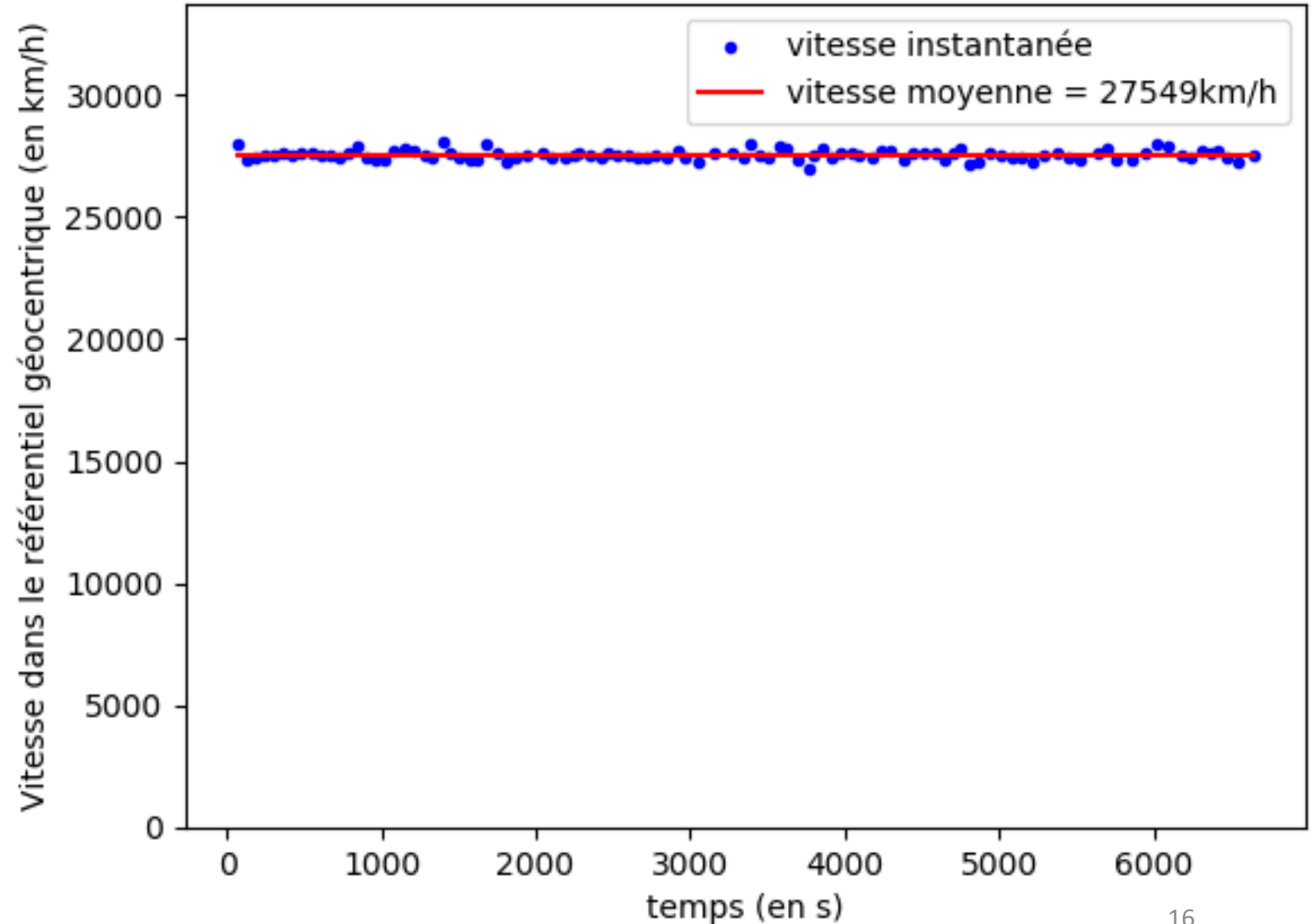


$$v = \sqrt{(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)}$$



$$v_{\text{exp}} = (27,55 \pm 0,02) \cdot 10^3 \text{ km/h}$$

Mouvement circulaire uniforme

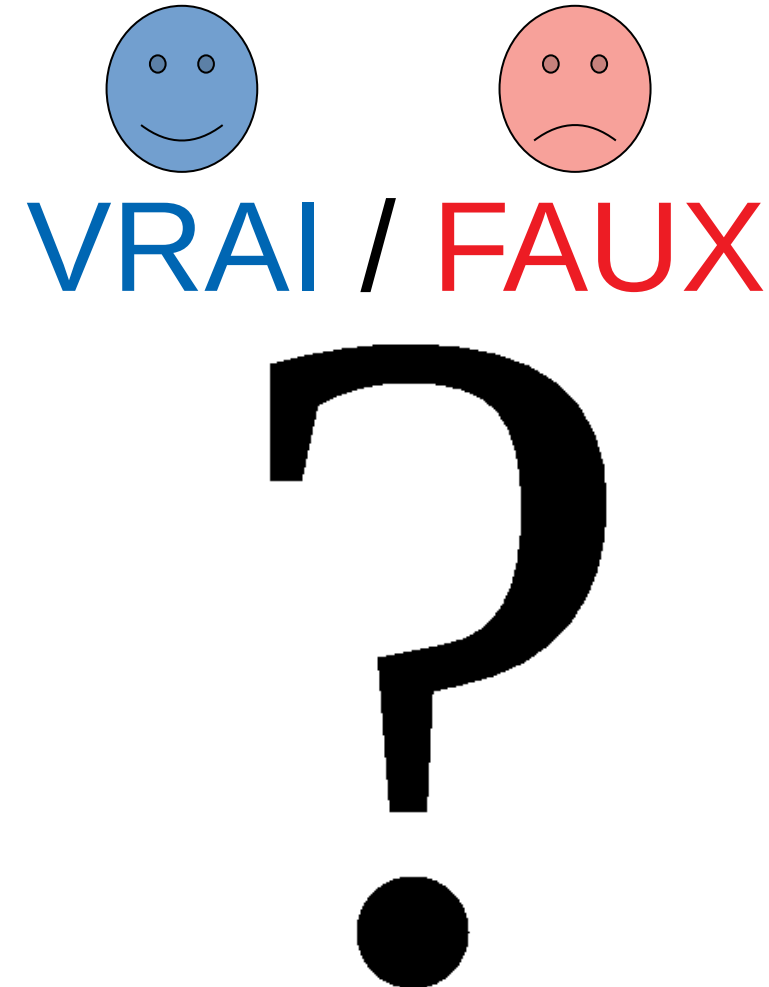




Question N°1 :

Dans le référentiel géocentrique le vecteur vitesse de l'ISS est :

- A – constamment dirigé vers le centre de la Terre ;
- B – tangent en tout point à la trajectoire et orienté dans le sens du mouvement ;
- C – nul à chaque instant ;
- D – un vecteur constant.





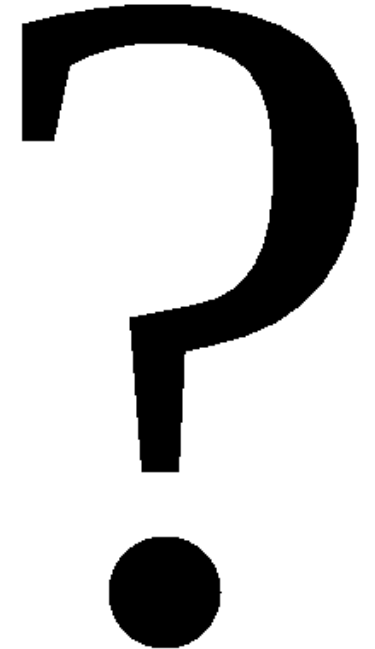
Question N°2 :

Dans le référentiel géocentrique le vecteur accélération de l'ISS est :

A – égal à la dérivée du vecteur vitesse par rapport au temps ;

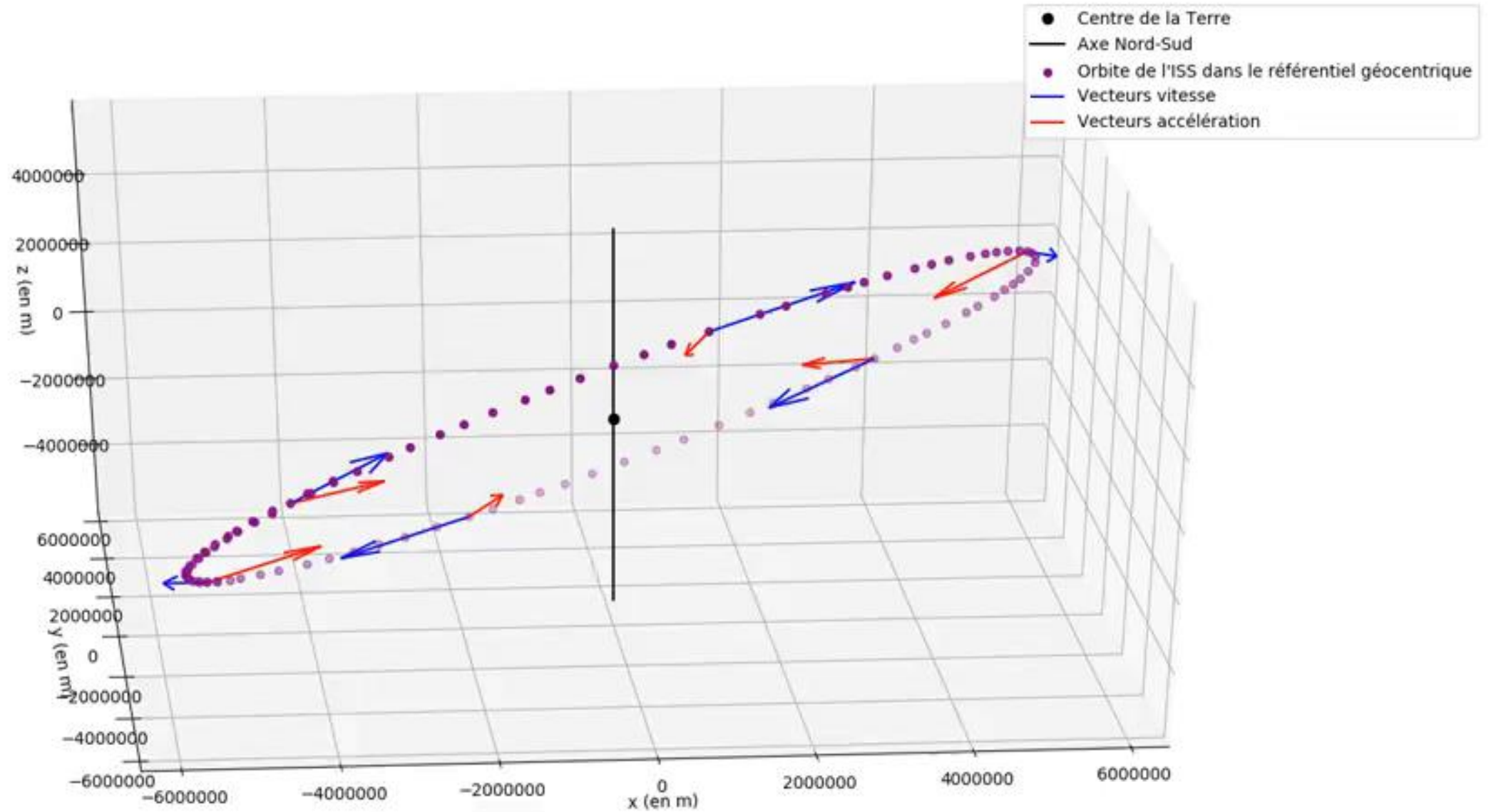
B – nul à chaque instant.

 
VRAI / FAUX





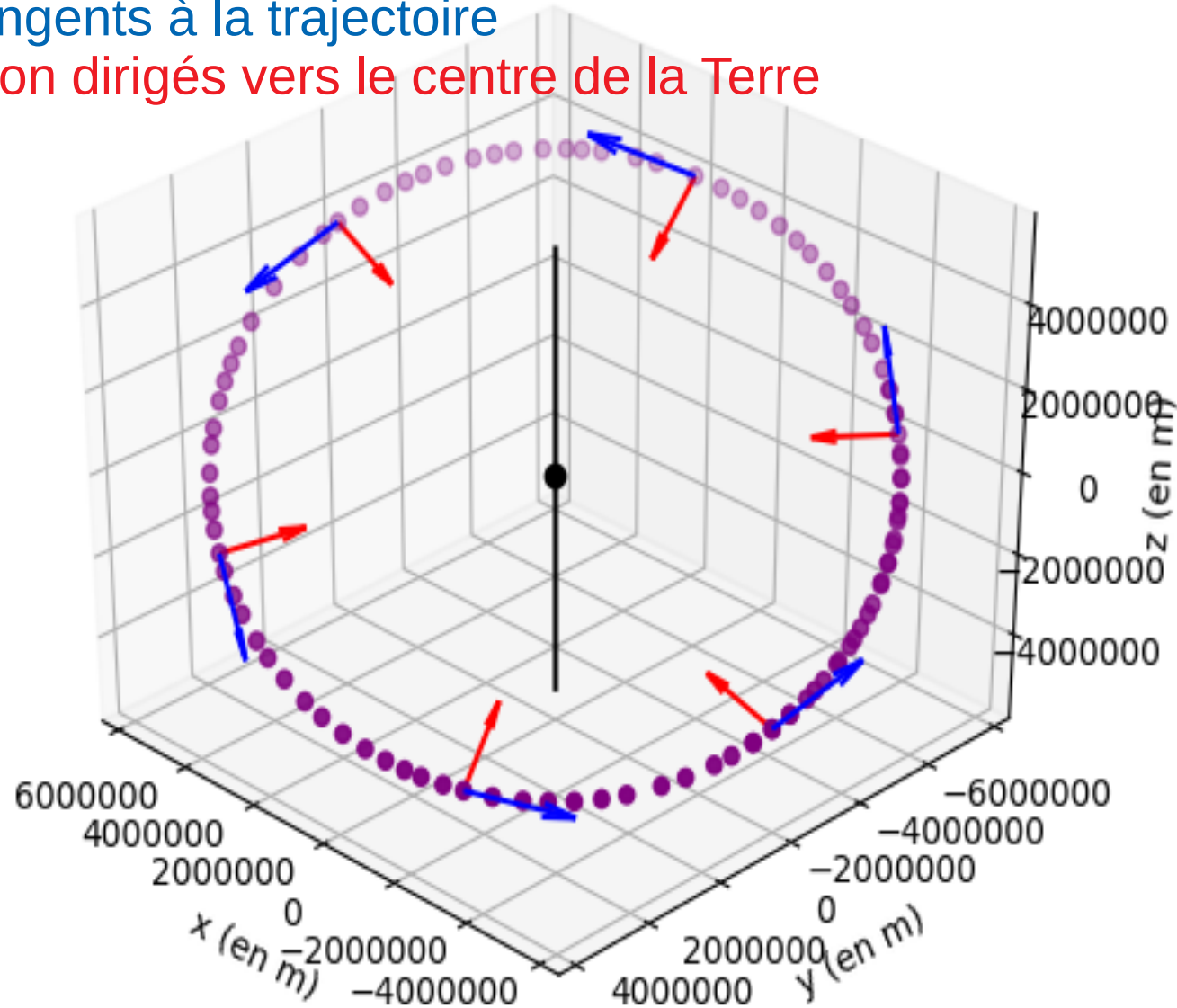
Vitesse et accélération de la station spatiale dans le référentiel géocentrique





Vecteurs vitesse tangents à la trajectoire

Vecteurs accélération dirigés vers le centre de la Terre





Dans le référentiel géocentrique le vecteur vitesse de l'ISS est :

~~A — Constamment dirigé vers le centre de la Terre.~~

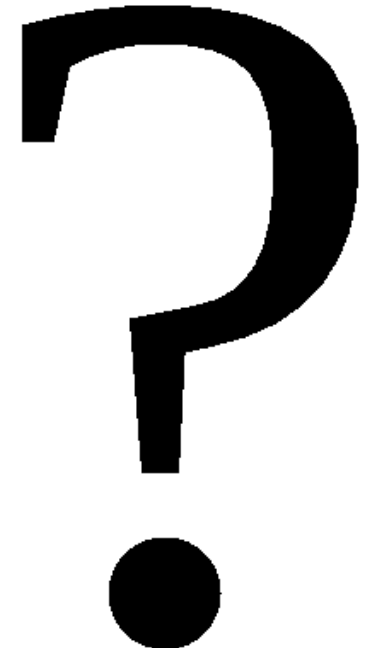
B — Tangent en tout point à la trajectoire et orienté dans le sens du mouvement.

~~C — Nul à chaque instant.~~

~~D — Un vecteur constant.~~



VRAI / FAUX





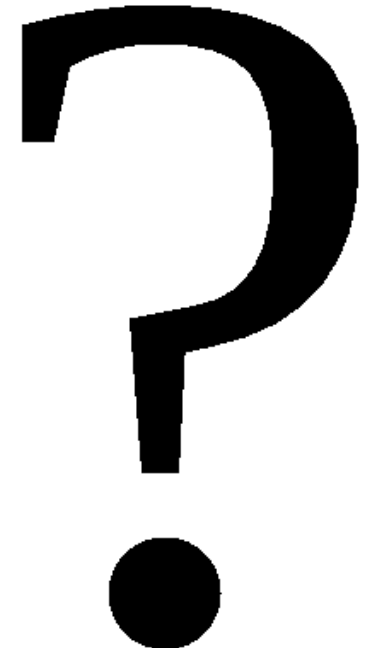
Dans le référentiel géocentrique le vecteur accélération de l'ISS est :

A – égal à la dérivée du vecteur vitesse par rapport au temps

~~B – nul à chaque instant~~



VRAI / FAUX





Résultats expérimentaux dans le référentiel géocentrique :

- Mouvement circulaire uniforme
- Vitesse ISS : $v_{\text{exp}} = (27,55 \pm 0,02) \cdot 10^3 \text{ km/h}$
- Période orbitale : $T_{\text{exp}} = (5576 \pm 10) \text{ s}$
- Vecteur accélération : vers le centre de la Terre.



Peut-on prévoir le mouvement de l'ISS dans le référentiel géocentrique en utilisant des lois de la mécanique ?

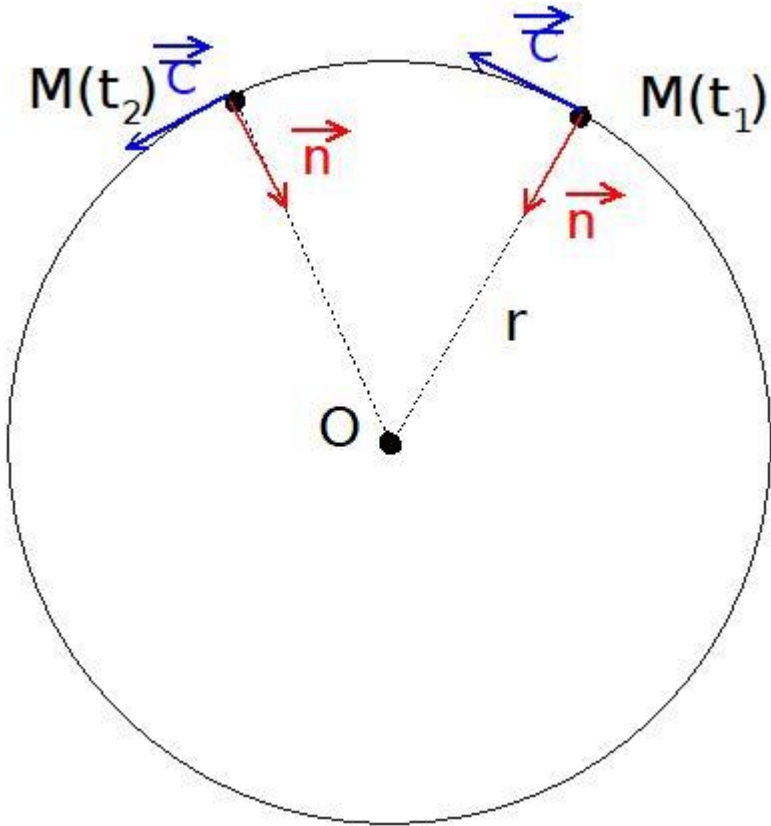


Isaac Newton (1642 - 1727)





Repérer un point matériel en mouvement circulaire à l'aide du repère de Frenet



$$\overrightarrow{OM} = -r\vec{n}$$

$$\vec{v} = v\vec{\tau}$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{dv\vec{\tau}}{dt} = \frac{v^2}{r}\vec{n} + \frac{dv}{dt}\vec{\tau}$$

Cas du mouvement circulaire uniforme

$$\frac{dv}{dt} = 0 ; \quad \vec{a} = \frac{v^2}{r}\vec{n}$$



Utiliser la deuxième loi de Newton pour retrouver la vitesse de la station spatiale

Système : ISS modélisé par un point matériel M de masse m

Référentiel : géocentrique (auquel est associé un repère de Frenet)

Bilan des forces extérieures : $\vec{F} = \frac{GM_T m}{r^2} \vec{n}$; $r = R_T + h$

2^e loi de Newton : $m\vec{a} = \sum \vec{F} = \frac{GM_T m}{r^2} \vec{n}$

MCU $m\vec{a} = m \frac{v^2}{r} \vec{n}$

$$v = \sqrt{\frac{GM_T}{r}} = \sqrt{\frac{6,67 \cdot 10^{-11} * 5,94 \cdot 10^{24}}{(6371+425) \cdot 10^3}} = 25,56 \cdot 10^3 \text{ km/h} = v_{exp}$$

$$\frac{|v_{exp} - v_{ref}|}{u(v_{exp})} = 0,5$$



Utiliser la deuxième loi de Newton pour retrouver la période de rotation de l'ISS autour de la Terre

$$v = \sqrt{\frac{GM_T}{r}}$$

Orbite circulaire de périmètre $2\pi r$ parcourue à la vitesse v durant une période T

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(R_T + h)^3}{GM_T}} = 5578 \text{ s} = T_{ref}$$

$$\frac{|T_{exp} - T_{ref}|}{u(T_{exp})} = 0,2$$



Bilan pour une orbite circulaire

$$v = \sqrt{\frac{GM_T}{r}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM_T}}$$

avec $r = R_T + h$

- v et T ne dépendent que de r
- Vrai pour tout satellite en orbite circulaire autour de la Terre

3^{ème} loi de Kepler

$$\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM_T}$$

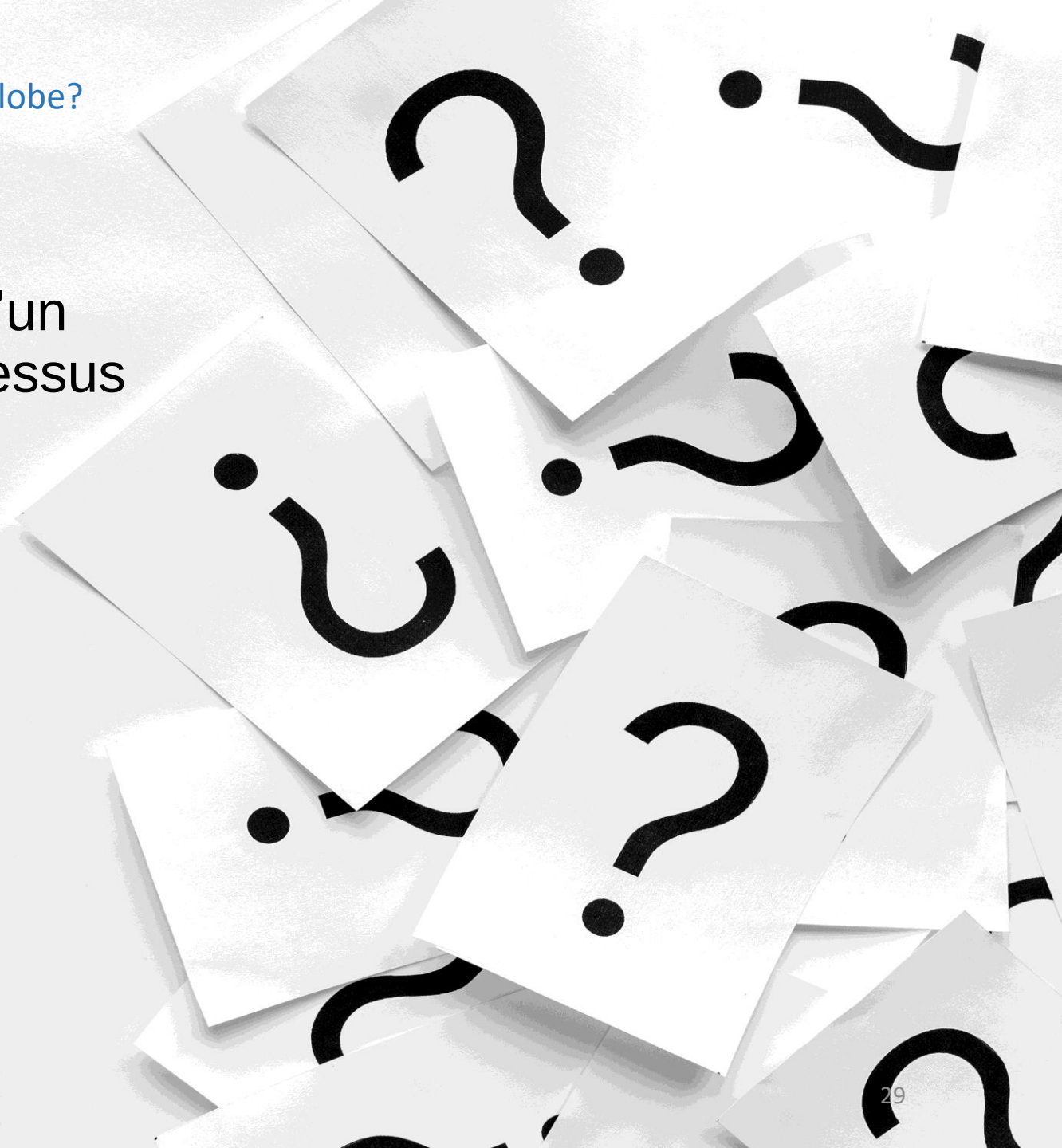


Johannes Kepler (1571 – 1630)



Peut-on observer en permanence un point du globe?

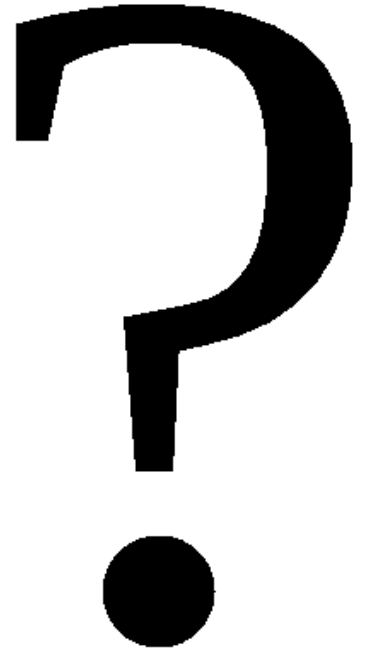
Quelles sont les conditions pour qu'un satellite reste en permanence au dessus d'un même point du globe ?





Peut-on observer en permanence un point du globe?

Quelle doit être la période d'un tel satellite dans le référentiel géocentrique ?





Peut-on observer en permanence un point du globe?

Quelle doit être la période d'un tel satellite
dans le référentiel géocentrique ?

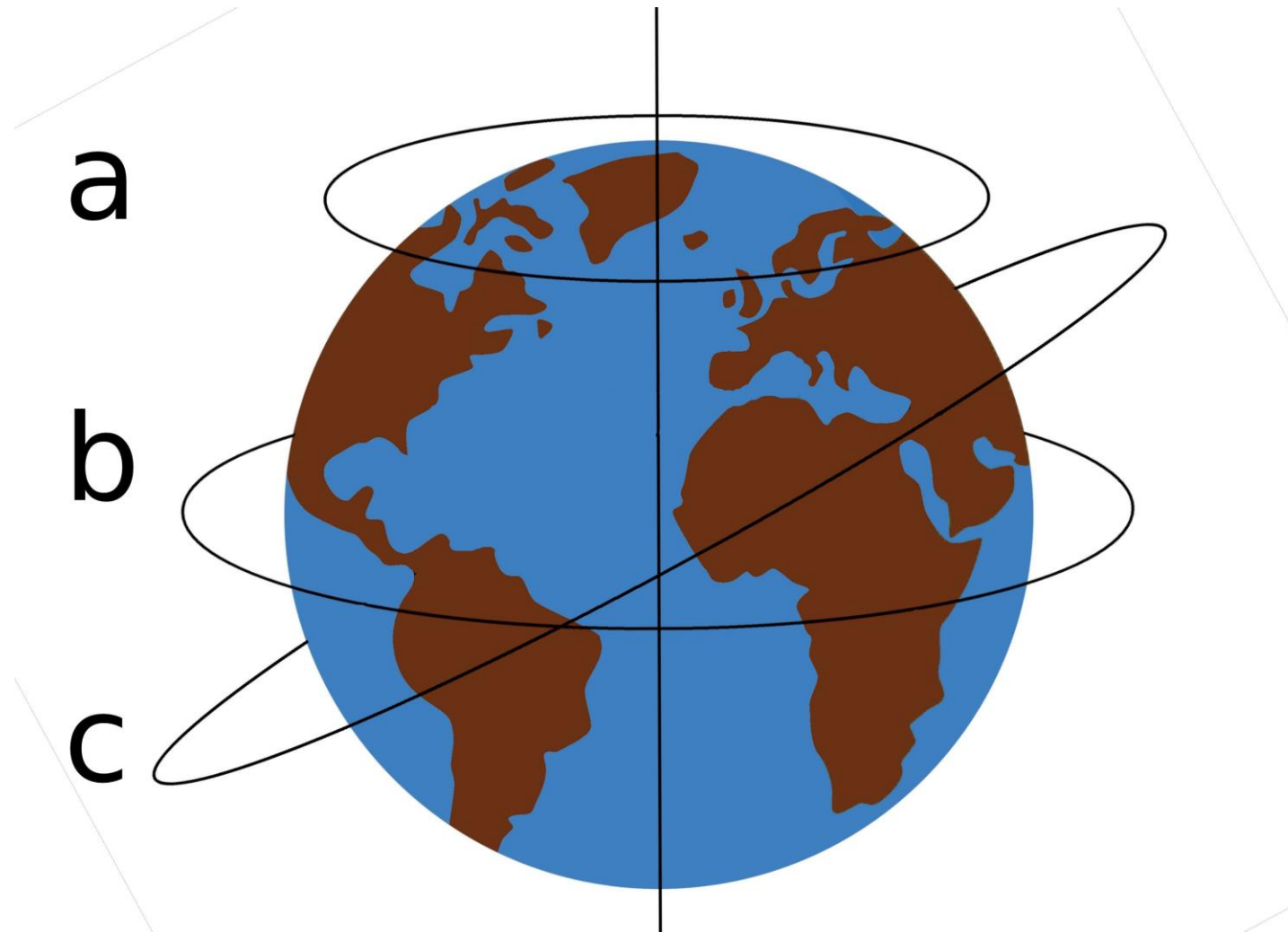
Réponse : Période = Période de rotation de la Terre autour des pôles

ET dans le même sens que la Terre



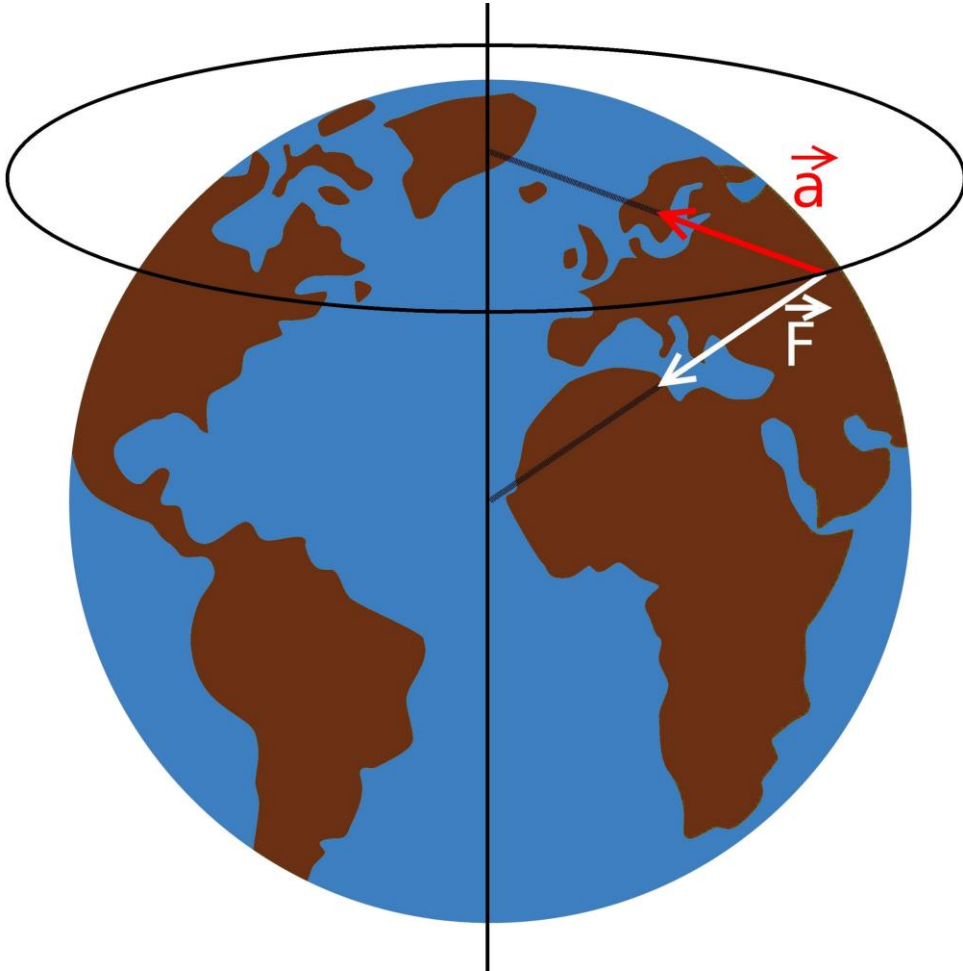
Peut-on observer en permanence un point du globe?

Parmi ces 3 orbites, quelle peut-être celle d'un tel satellite?

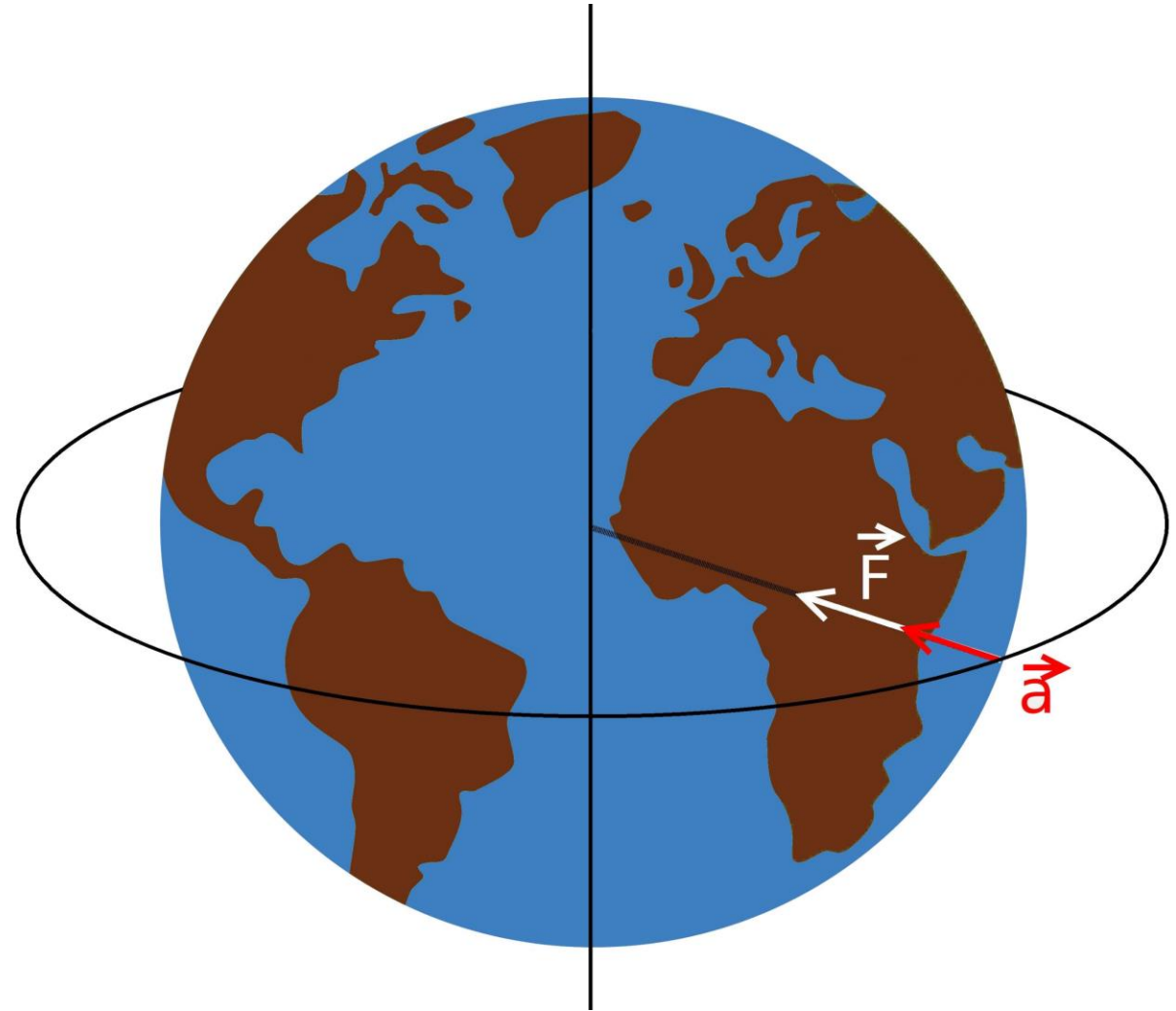




Un satellite au dessus de ma maison ?



Situation incompatible avec la deuxième loi de Newton...



... sauf pour une orbite équatoriale !

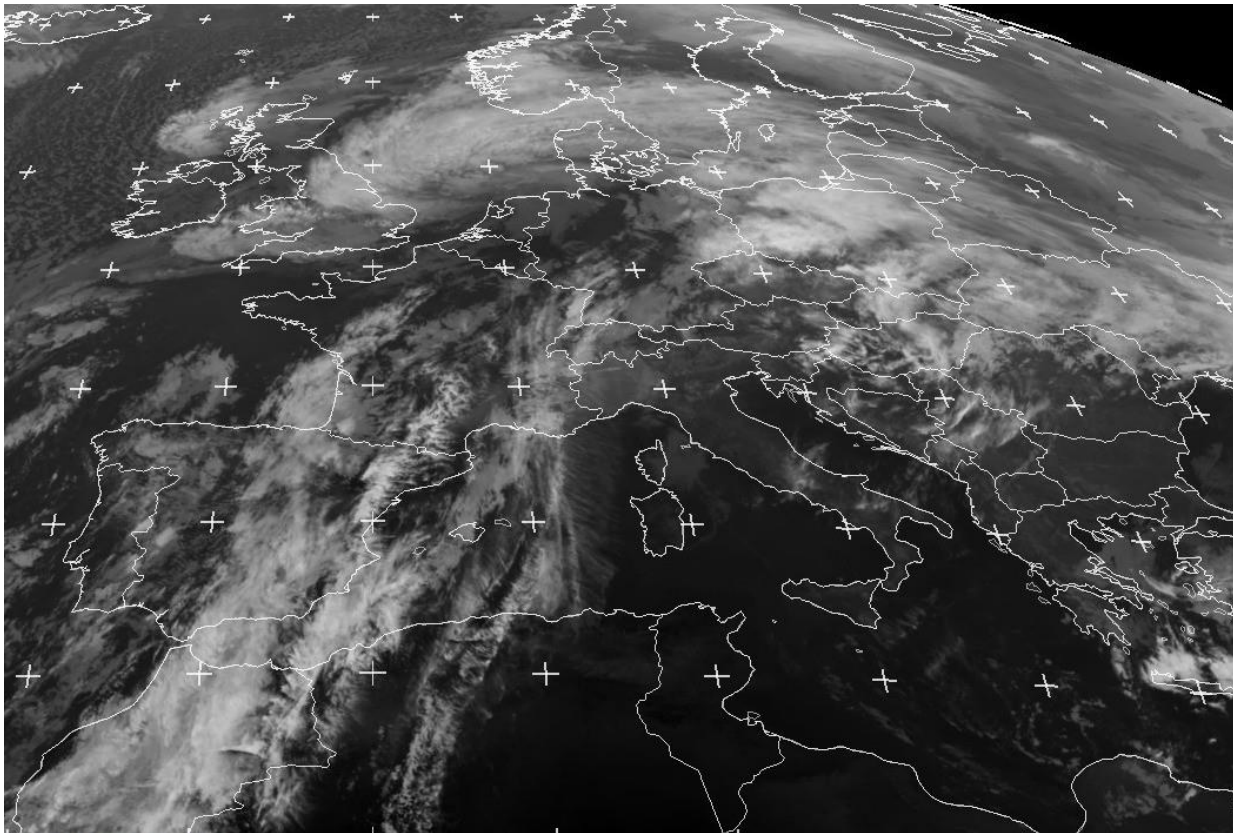


Satellites géostationnaires

Un satellite géostationnaire reste en permanence au-dessus du même point du sol.

Dans le référentiel géocentrique :

- orbite circulaire équatoriale ;
- même sens de rotation que la Terre ;
- période de rotation égale à la période de rotation de la Terre sur elle-même.



Meteosat 0deg IR 10.8, 2020-10-21 16:00:00 UTC

Satellite météorologique Météosat



Plus de 300 satellites géostationnaires



Calcul de l'altitude d'un satellite géostationnaire

3ieme loi de Kepler $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{GM_T}$

Altitude d'un satellite géostationnaire:

$$h = \sqrt[3]{\frac{GM_T T^2}{4\pi^2}} - R_T = 36.10^3 km$$



Fin de vie d'un satellite ?





Dans le repère de Frenet :

$$\vec{a} = \frac{v^2}{r} \vec{n} + \frac{dv}{dt} \vec{\tau}$$

Mouvement circulaire uniforme caractérisé par :

- $\vec{v}$ varie mais sa norme est constante
- $\vec{a}$ normal à la trajectoire, dirigé vers le centre (centripète) et de norme v^2/r

Caractéristiques d'un satellite géostationnaire dans le référentiel géocentrique :

- orbite équatoriale
- période (86164 s)
- altitude (36000 km)

