Bac 2026 Asie-Pacifique (Jour 1) **Correction** https://www.labolycee.org
Spécialité physique chimie

Exercice 2 – Satellites de communication (6 points)

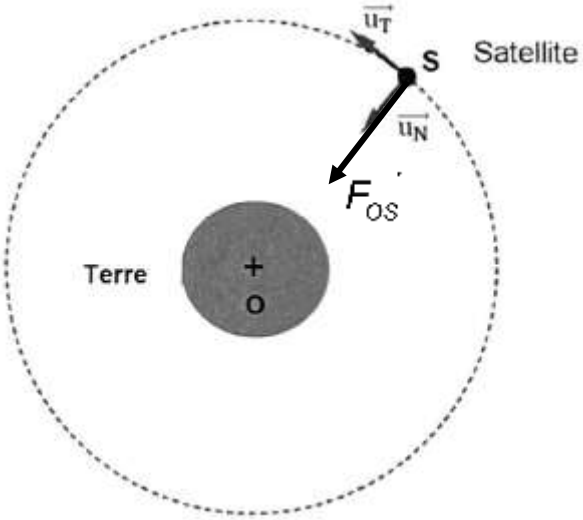
On étudie le mouvement du centre de masse S d'un satellite par rapport à un référentiel supposé galiléen. Le satellite, de masse *m*, gravite sur une orbite circulaire géostationnaire située à une altitude *h* par rapport à la surface de la Terre.
On considère que le satellite n'est soumis qu'à l'unique action de la force d'interaction gravitationnelle $\overrightarrow{F_{OS}}$ exercée par la Terre de centre O, de masse M_T et de rayon R_T. On associe au centre de masse S le repère de Frenet $\left(S,\overrightarrow{u_n},\overrightarrow{u_t}\right)$.

Q1. Nommer le référentiel par rapport auquel le mouvement du centre de masse du satellite est étudié.

Le référentiel par rapport auquel le mouvement du centre de masse du satellite est étudié est le **référentiel géocentrique.**

Q2. Compléter le schéma présent sur l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE en représentant sans souci d'échelle la force d'interaction gravitationnelle $\overrightarrow{F_{OS}}$.

La force d'interaction gravitationnelle $\overrightarrow{F_{OS}}$ exercée par la Terre sur le satellite s'applique au centre de masse S du satellite et est attractive. Elle est donc orientée du satellite vers le centre O de la Terre.



Q3. Donner l'expression vectorielle de la force $\overrightarrow{F_{OS}}$ dans le repère de Frenet en fonction de *G*, constante de gravitation universelle, *m*, M_T, R_T et *h*.

$$\overrightarrow{F_{OS}} = \frac{G \cdot m \cdot M_T}{(R_T + h)^2} \cdot \overrightarrow{u_N}$$

Q4. En appliquant la deuxième loi de Newton, montrer que le mouvement circulaire de S est uniforme.

Appliquons la 2ème loi de Newton au système {satellite} de masse *m* et de centre de masse S, dans le référentiel géocentrique supposé galiléen associé au repère de Frenet $\left(S,\overrightarrow{u_n},\overrightarrow{u_t}\right)$:

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = m\vec{a} \quad \Leftrightarrow \quad \frac{G \cdot m \cdot M_T}{(R_T + h)^2} \cdot \overrightarrow{u_N} = m \cdot \vec{a} \text{ soit } \boxed{\vec{a} = \frac{G \cdot M_T}{(R_T + h)^2} \overrightarrow{u_N}}.$$

Dans le repère de Frenet, l'accélération s'écrit : $\vec{a} = \frac{v^2}{R_T + h} \cdot \overrightarrow{u_N} + \frac{dv}{dt} \cdot \overrightarrow{u_t}$

L'accélération peut s'écrire : $\vec{a} = \frac{G \cdot M_T}{(R_T + h)^2} \cdot \overrightarrow{u_N} + 0\ \overrightarrow{u_t}$

Par identification des deux expressions de $\vec{a}$ selon $\overrightarrow{u_t}$ on obtient :

$\frac{dv}{dt} = 0$ soit ***v* = Cte** : le mouvement circulaire du satellite est donc **uniforme**.

Q5. Définir la période de révolution *T* du satellite de centre de masse S.

La période de révolution *T* du satellite est la durée nécessaire pour faire un tour complet autour du centre O de la Terre.

À partir des données des rayons *r* des orbites et des périodes de révolution *T* de différents satellites terrestres, un programme informatique a permis de tracer puis de modéliser l'évolution du carré des périodes en fonction du cube des rayons *r*. La figure 1 ci-après fournit le graphe obtenu après exécution du programme. La modélisation par une droite indique un coefficient directeur $k = 9{,}85\times10^{-14}\ s^2\cdot m^{-3}$.

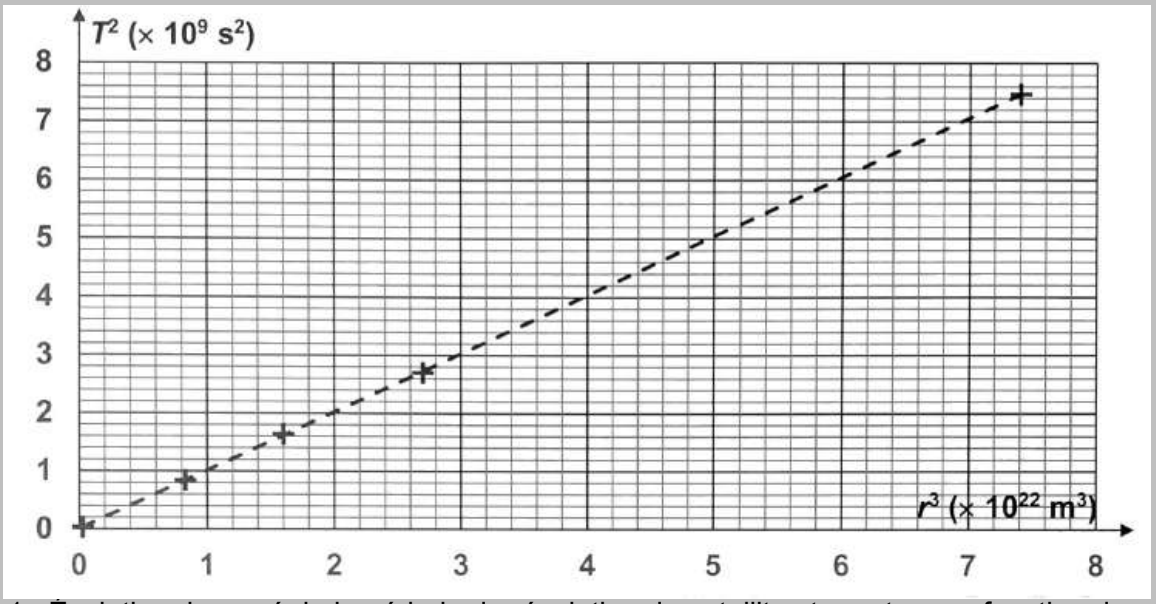


Figure 1 : Évolution du carré de la période de révolution de satellites terrestres en fonction du cube du rayon de leur orbite

Données :

- Constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67\times10^{-11}\ m^2\cdot kg^{-1}\cdot s^{-2}$
- Rayon de la Terre : $R_T = 6{,}38\times10^3$ km
- Période de rotation de la Terre autour de l'axe des pôles : T_T = 23 h 56 min 4 s
- Célérité d'une onde électromagnétique dans le vide : $c = 3{,}00\times10^8\ m\cdot s^{-1}$.

Q6. Montrer que la valeur de l'altitude *h* du satellite géostationnaire de centre de masse S est environ h ≈ 36 000 km.

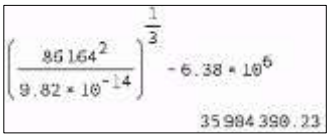
Le graphique de la figure 1 est une **droite qui passe par l'origine**. Le carré de la période de révolution des satellites terrestres est donc **proportionnel** au cube du rayon de leur orbite soit : $\boldsymbol{T^2 = k\times r^3}$ avec $\boldsymbol{k = 9{,}85\times10^{-14}\ s^2\cdot m^{-3}}$.

Ainsi $r^3 = \dfrac{T^2}{k}$ avec $r = R_T + h$ donc $h = r - R_T$ et finalement : $\boxed{h = \sqrt[3]{\dfrac{T^2}{k}} - R_T}$.

Un satellite géostationnaire a une période de révolution *T* égale à la période de rotation T_T de la Terre autour de l'axe des pôles, soit :

$\boldsymbol{T = T_T}$ = 23 h 56 min 4 s = (23 × 3600 s) + 56 × 60 + 4 s = **86 164 s**.

$h = \sqrt[3]{\dfrac{86164^2}{9{,}85\times10^{-14}}} - 6{,}38\times10^6\ m = 3{,}59\times10^7\ m = \mathbf{3{,}59\times10^4\ km}$.



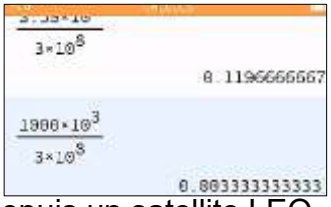
Donc l'altitude *h* est bien voisine de 36 000 km.

Q7. Comparer la valeur de la durée de transmission Δt_1 d'un signal électromagnétique émis depuis la surface de la Terre vers un satellite géostationnaire à celle, notée Δt_2, vers un satellite LEO, en orbite à 1000 km d'altitude.

Les durées Δt_1 et Δt_2 d'un signal électromagnétique émis depuis la surface de la Terre respectivement vers un satellite géostationnaire et vers un satellite LEO s'écrivent :

$\Delta t_1 = \dfrac{h_1}{c} = \dfrac{h}{c}$ soit $\Delta t_1 = \dfrac{3{,}59\times10^7\,m}{3{,}00\times10^8\,m\cdot s^{-1}} = \mathbf{0{,}120\ s.}$

$\Delta t_2 = \dfrac{h_2}{c}$ soit $\Delta t_2 = \dfrac{1000\times10^3\,m}{3{,}00\times10^8\,m\cdot s^{-1}} = \mathbf{3{,}33\times10^{-3}\ s.}$



$\Delta t_2 < \Delta t_1$ La durée de transmission est environ 36 fois plus courte depuis un satellite LEO.

Q8. En utilisant les calculs et les informations issues du document, donner les avantages et les inconvénients des satellites géostationnaire et LEO pour la transmission de données par le réseau internet.

Type de satellite	Avantages	Inconvénients
Géostationnaire	• Fixe par rapport à la Terre (pas besoin de déplacer l'antenne). • Large couverture (très peu de satellites suffisent).	• Délai de transmission élevé 120 ms.
LEO (Orbite basse)	• Délai de transmission très faible 3,3 ms idéal pour la rapidité des échanges internet.	• Couverture faible par satellite : nécessite des constellations de milliers de satellites. • Risques de débris, pannes et fort impact environnemental

Merci de nous signaler d'éventuelles erreurs : labolycee@labolycee.org