Satellites de communication

Bac 2026 Asie-Pacifique Jour 1 · Exercice 2 **6 points** **Durée conseillée 1 h 03**

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

Le satellite tourne autour du centre O de la Terre : on étudie son mouvement dans le

référentiel **géocentrique**.

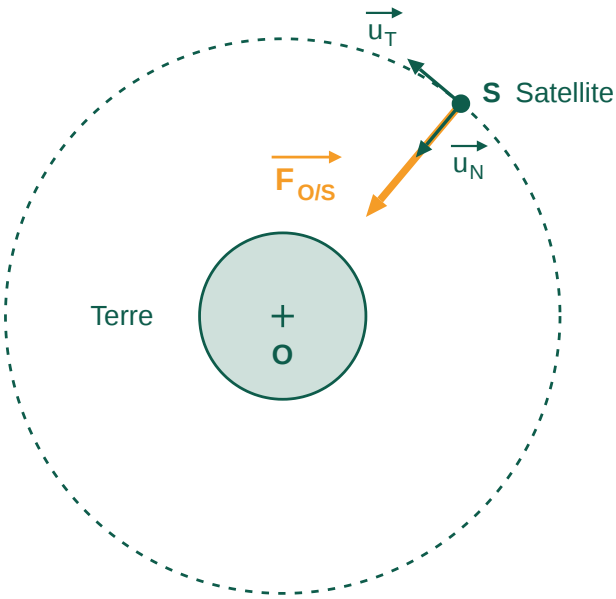
PIÈGE
Répondre « référentiel terrestre ». Lié au sol, il tourne avec la Terre : un satellite géostationnaire y est immobile, et il n'est pas galiléen à cette échelle.

Q2 Compléter le schéma de l'annexe en représentant, sans souci d'échelle, la force d'interaction gravitationnelle $\overrightarrow{F}_{O/S}$.

La force exercée par la Terre sur le satellite est attractive : elle s'applique en S, sa direction est la droite (SO) et elle est orientée de S vers O.

Flèche d'origine S, portée par (SO), dirigée vers O (en orange sur le schéma).

PIÈGE
Faire partir la flèche de O, ou la tracer vers l'extérieur de l'orbite. Le point d'application est le centre de masse du système qui subit la force, ici S.



Q2 · Annexe complétée : la force exercée par la Terre sur le satellite

Q3 Donner l'expression vectorielle de la force $\overrightarrow{F}_{O/S}$ dans le repère de Frenet en fonction de G, m, M_T, R_T et h.

Les centres O et S sont distants de $OS = R_T + h$ et la force est dirigée vers O, comme $\vec{u}_N$:

$$\overrightarrow{F}_{O/S} = \frac{G\,m\,M_T}{(R_T+h)^2}\,\vec{u}_N$$

PIÈGE
Écrire h^2 au dénominateur : la distance se compte de centre à centre. Pas de signe « $-$ » non plus, car $\vec{u}_N$ pointe déjà vers O.

COMPRENDRE
Le sujet donne G en $\mathrm{m^2 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}}$: c'est une coquille, l'unité correcte est $\mathrm{m^3 \cdot kg^{-1} \cdot s^{-2}}$. Sans conséquence ici, G ne sert dans aucun calcul numérique.

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

Système : {satellite}, masse m constante. Référentiel : géocentrique, supposé galiléen. Unique force : $\vec{F}_{O/S}$.

Deuxième loi de Newton : $\vec{F}_{O/S} = m\,\vec{a}$, d'où

$$\vec{a} = \frac{G\,M_T}{(R_T+h)^2}\,\vec{u}_N$$

L'accélération n'a donc aucune composante selon $\vec{u}_T$.

Or, pour un mouvement circulaire de rayon $R_T + h$, le repère de Frenet donne : $\vec{a} = \dfrac{v^2}{R_T+h}\,\vec{u}_N + \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\,\vec{u}_T$.

En égalant les composantes selon $\vec{u}_T$:

$\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$: la valeur v de la vitesse est constante, le mouvement circulaire est **uniforme**.

PIÈGE
Affirmer que l'accélération est nulle ou constante. Seule sa composante tangentielle est nulle : le vecteur $\vec{a}$ garde une valeur fixe mais change de direction à chaque instant.

MÉTHODE
Toujours le même plan : système, référentiel, bilan des forces, deuxième loi, puis comparaison avec l'accélération de Frenet. La composante sur $\vec{u}_T$ dit si le mouvement est uniforme, celle sur $\vec{u}_N$ donne v.

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

T est la durée que met le satellite pour effectuer un tour complet de son orbite autour de la Terre, dans le référentiel géocentrique.

COMPRENDRE
Révolution : le satellite tourne autour de la Terre. Rotation : la Terre tourne sur elle-même. Pour un satellite géostationnaire, les deux périodes sont égales, ce qui servira à la question suivante.

Q6 Montrer que l'altitude h du satellite géostationnaire de centre de masse S vaut environ $36\,000$ km.

Données utiles figure 1 : droite de coefficient directeur $k = 9{,}85 \times 10^{-14}\ \mathrm{s^2 \cdot m^{-3}}$; $R_T = 6{,}38 \times 10^3$ km ; $T_T = 23\ \mathrm{h}\ 56\ \mathrm{min}\ 4\ \mathrm{s}$

Sur la figure 1, les points sont alignés sur une droite passant par l'origine : T^2 est proportionnel à r^3, soit $T^2 = k\,r^3$ (troisième loi de Kepler).

Un satellite géostationnaire reste à la verticale du même point du sol : sa période de révolution est celle de la rotation de la Terre.

$T = T_T = 23 \times 3600 + 56 \times 60 + 4 = 86\,164$ s

Avec $r = R_T + h$: $\quad h = \sqrt[3]{\dfrac{T^2}{k}} - R_T$

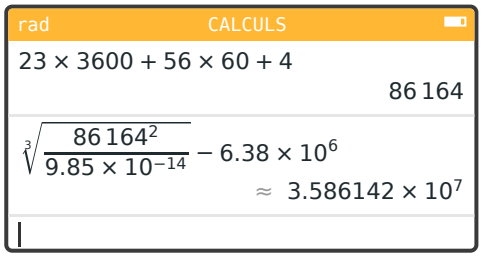
$$h = \sqrt[3]{\frac{86\,164^2}{9{,}85 \times 10^{-14}}} - 6{,}38 \times 10^6 = 3{,}59 \times 10^7\ \mathrm{m}$$

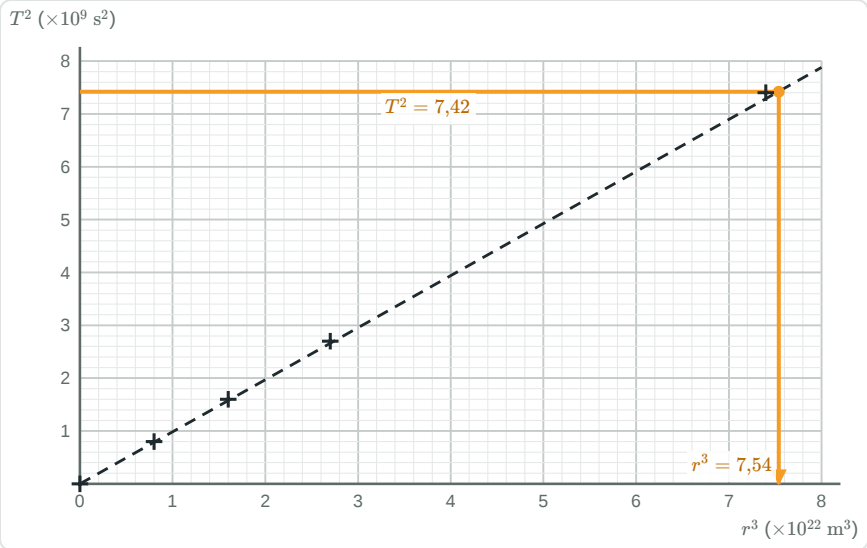
$h = 3{,}59 \times 10^4$ km, ce qui est bien proche de la valeur attendue $36\,000$ km.

PIÈGE
Oublier de convertir R_T en mètres avant la soustraction, ou s'arrêter à $r = 4{,}22 \times 10^7$ m : c'est le rayon de l'orbite, compté depuis O, et non l'altitude.

COMPRENDRE
Le résultat s'écrit avec trois chiffres significatifs, comme k et R_T. Sur la figure, le point le plus à droite ($T^2 \approx 7{,}4 \times 10^9\ \mathrm{s^2}$) correspond à l'orbite géostationnaire.

À LA CALCULATRICE





Q6 · Figure 1 du sujet, avec la lecture pour le satellite géostationnaire

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

Données utiles $c = 3{,}00 \times 10^8$ m · s^{-1} ; $h_1 = 3{,}59 \times 10^7$ m (Q6) ; $h_2 = 1000$ km $= 1{,}000 \times 10^6$ m

Le signal franchit l'altitude h du satellite à la célérité c : $\Delta t = \dfrac{h}{c}$.

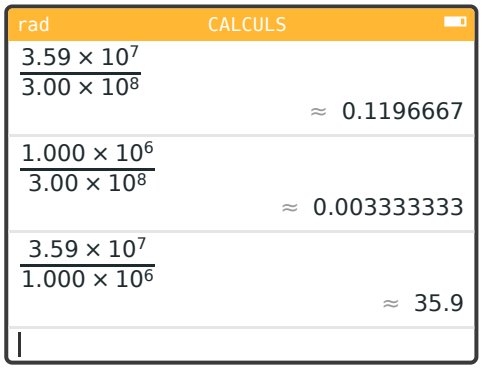
$$\Delta t_1 = \frac{3{,}59 \times 10^7}{3{,}00 \times 10^8} = 0{,}120 \text{ s} \qquad \Delta t_2 = \frac{1{,}000 \times 10^6}{3{,}00 \times 10^8} = 3{,}33 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$\dfrac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \dfrac{h_1}{h_2} \approx 36$: la transmission vers le satellite géostationnaire dure environ 36 fois plus longtemps que vers le satellite LEO.

PIÈGE
Garder 1000 km en kilomètres face à c en m · s^{-1}. Et « comparer » ne se limite pas à deux valeurs : il faut conclure par un rapport chiffré.

COMPRENDRE
Ces durées supposent le satellite à la verticale de l'émetteur : ce sont des minimums. Un aller-retour par l'orbite géostationnaire prend déjà 0,24 s, contre moins de 7 ms en orbite basse.

À LA CALCULATRICE



Q8 À l'aide des calculs et du document, donner les avantages et les inconvénients des satellites géostationnaires et LEO pour la transmission de données par le réseau Internet.

Données utiles $\Delta t_1 = 0{,}120$ s et $\Delta t_2 = 3{,}33 \times 10^{-3}$ s (Q7)

Satellite géostationnaire. Avantages : il survole toujours la même zone, donc l'antenne au sol reste fixe ; sa couverture est large, quelques satellites suffisent pour tout le globe. Inconvénient : le délai de transmission est long ($0{,}120$ s par trajet), ce qui ralentit les échanges.

Satellite LEO. Avantage : le délai est environ 36 fois plus court ($3{,}33$ ms), ce qui convient aux échanges rapides sur Internet. Inconvénients : chaque satellite couvre une petite zone, il en faut plusieurs milliers, d'où des risques d'encombrement, de pannes et de débris spatiaux, et un impact environnemental critiqué.

Géostationnaire : couverture large et antenne fixe, mais délai élevé. LEO : délai très court, mais des milliers de satellites et un impact environnemental.

MÉTHODE

La question demande d'utiliser les calculs : citer les durées trouvées à la question 7 pour appuyer l'argument du délai, puis reprendre du document une idée par avantage ou inconvénient, sans le recopier.