

1. SI – Session 2022 – Jour1 – Nouvelle Calédonie

L'altimétrie par satellite est aujourd'hui l'un des outils les plus précieux pour l'océanographie. À bord du satellite est embarqué un radar. Il mesure avec une précision remarquable (environ 2 cm) la hauteur des océans.

On étudie, dans cet exercice, les mouvements de deux satellites altimétriques.

Fruit d'une collaboration internationale entre les États-Unis et l'Europe, Jason-CS/Sentinel-6 (figure 1), est le dernier né des satellites altimétriques.

Conçu pour mesurer la hauteur des océans avec une précision de l'ordre du cm, il se déplace à une vitesse proche de $2,59 \times 10^4 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ sur une orbite circulaire, à une altitude $h = 1\,336 \text{ km}$, et repasse tous les dix jours au-dessus du même point.



Figure 1. Satellite Jason-CS/Sentinel-6

La masse du satellite Jason-CS/Sentinel-6 est égale à $m_S = 1\,440 \text{ kg}$.

Données :

- masse de la Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24} \text{ kg}$;
- rayon terrestre : $R_T = 6,38 \times 10^3 \text{ km}$;
- constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$

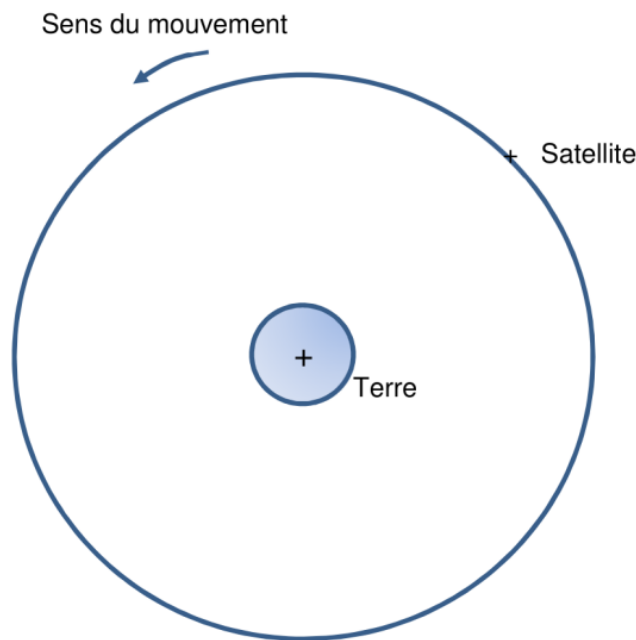
1. Donner, l'expression de la force gravitationnelle qui s'applique au satellite Jason-CS/Sentinel-6 dans le repère de Frenet associé. Représenter, sans souci d'échelle, cette force et le repère de Frenet sur le document de l'**ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE**.
2. Montrer que, dans un référentiel judicieusement choisi, le mouvement du satellite considéré est circulaire uniforme.
3. Établir l'expression du vecteur vitesse du satellite. Le représenter, sans souci d'échelle, sur le document de l'**ANNEXE A RENDRE AVEC LA COPIE**.
4. Déterminer le nombre de fois que le satellite parcourt son orbite avant de repasser au-dessus du même point.

Le candidat est invité à prendre des initiatives, notamment sur les valeurs numériques éventuellement manquantes, et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti.

Topex-Poséidon a été le premier satellite d'altimétrie de précision réalisé par la NASA et le CNES. Lancé le 10 août 1992, les 2 400 kg du satellite ont été placés sur une orbite circulaire à 1 336 km du sol. Il a fourni des données jusqu'en 2005.

5. Comparer la vitesse du satellite Topex-Poséidon à celle du satellite Jason-CS/Sentinel-6. Justifier simplement votre réponse, sans calculs.

Schéma de l'orbite du satellite Jason-CS/Sentinel-6 autour de la Terre (échelle non respectée)



2. Session 2022 – Jour1 – Centres Étrangers2

Les 18 mars et 22 avril 2020, deux fusées ont chacune mis en orbite soixante satellites de type « Starlink ». À terme, ce sont près de 12 000 satellites similaires qui doivent être mis en orbite.

L'objectif est de constituer un réseau de satellites, permettant un accès à internet en tout point de la planète.

D'après <https://theconversation.com/starlink-les-dommages-collateraux-de-la-flotte-de-satellites-delon-musk-135330>

Données :

- masse de la Terre : $M_T = 5,97 \times 10^{24}$ kg ;
- rayon de la Terre : $R_T = 6\,400$ km ;
- constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11}$ m³·kg⁻¹·s⁻² ;
- l'étude est conduite dans le référentiel géocentrique : son origine coïncide avec le centre O de la Terre et ses axes pointent vers des étoiles lointaines. Il est supposé galiléen.

Données techniques d'un satellite Starlink :

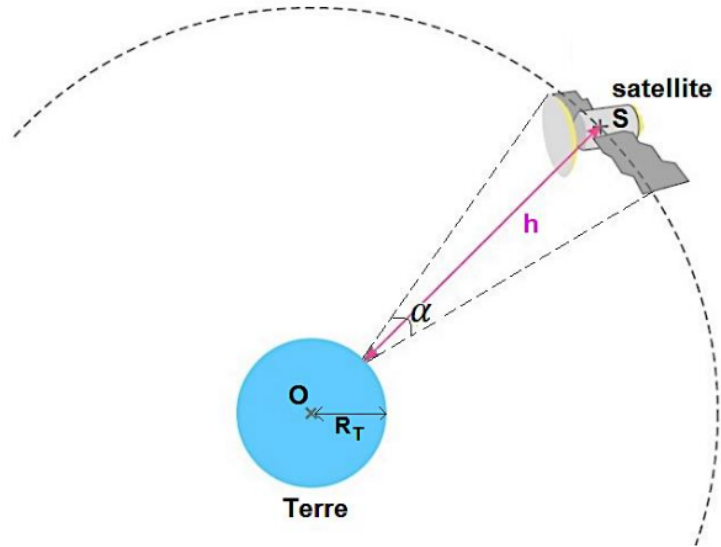
- masse : 227 à 260 kg ;
- altitude h : entre 340 et 1 200 km ;
- vitesse de déplacement sur son orbite dans le référentiel géocentrique : $v_S = 2,73 \times 10^4$ km·h⁻¹ ;
- taille : environ 1,0 m × 1,0 m × 1,0 m.

Orbite d'un satellite Starlink

Le mouvement d'un satellite Starlink est circulaire.

Le schéma ci-contre, qui n'est pas à l'échelle, représente une partie de la trajectoire du satellite S.

L'altitude du satellite est notée h et son diamètre apparent depuis la surface de la Terre est l'angle noté α défini sur le schéma ci-contre.



1. Justifier à l'aide de la deuxième loi de Newton que le mouvement du satellite est uniforme.
2. Définir puis exprimer la période de révolution T en fonction de la vitesse v_S du satellite, du rayon terrestre R_T et de l'altitude h du satellite.
3. À l'aide de la deuxième loi de Newton, exprimer $R_T + h$ en fonction de G , M_T et v_S .
4. Calculer l'altitude h du satellite. Commenter.

3. SI – Session septembre 2022 – Jour2 – Métropole

D'après la troisième loi de Kepler, la période de révolution d'une planète autour du Soleil dépend uniquement de la valeur du demi-grand axe de sa trajectoire elliptique. Dans le cas des planètes du Système solaire, on constate ainsi que, plus elles sont proches du Soleil, plus la période de révolution est faible. Pourtant, certains objets semblent ne pas vérifier la troisième loi de Kepler.

Le satellite SOHO est chargé d'observer en continu le Soleil afin d'en étudier la structure interne, les processus produisant le vent solaire ainsi que la couronne solaire. Le satellite est placé sur une orbite circulaire centrée sur le Soleil ; le Soleil, le satellite et la Terre sont alignés à tout instant. La position du satellite sur l'axe Terre-Soleil est constante au cours du temps et se situe à une distance de la Terre d'environ $1,496 \times 10^6$ km. L'orbite de la Terre autour du Soleil est considérée comme circulaire.

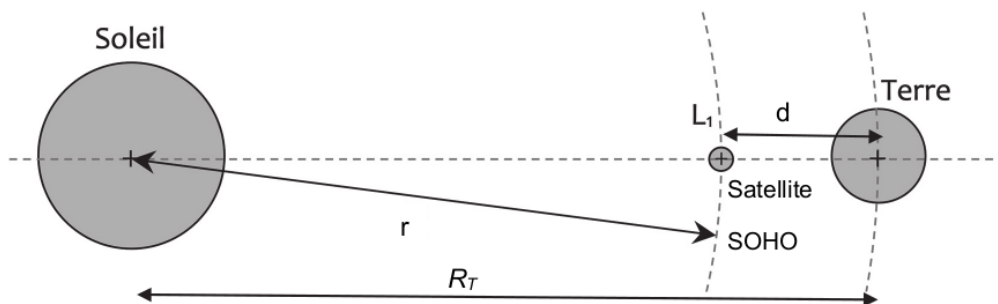


Figure 1. Position du satellite SOHO (L_1) entre le Soleil et la Terre. L'échelle n'est pas respectée

Données :

- constante de gravitation universelle : $G = 6,674 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$;
- masse du Soleil : $M_S = 1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$;
- masse de la Terre : $M_T = 5,974 \times 10^{24} \text{ kg}$;
- distance moyenne Soleil-Terre : $R_T = 1,496 \times 10^8 \text{ km}$;
- distance entre le Terre et le satellite SOHO : $d = 0,015 \times 10^8 \text{ km}$;
- rayon de l'orbite de SOHO autour du Soleil : $r = 1,481 \times 10^8 \text{ km}$;
- période de révolution terrestre : $T_T = 365,2 \text{ jours}$.

L'étude est conduite dans le référentiel héliocentrique dont l'origine est confondue avec le centre du Soleil et dont les axes pointent vers des étoiles lointaines. Il est supposé galiléen.

Q1. Justifier, à l'aide d'une analyse conduite dans le repère de Frenet, que le mouvement du satellite SOHO est uniforme.

Q2. À l'aide d'un argument géométrique, montrer que la période de révolution du satellite SOHO autour du Soleil est la même que celle de la Terre autour du Soleil.

Q3. Énoncer la troisième loi de Kepler, l'exprimer dans le cas de la Terre. Montrer alors, à l'aide de la question 2, que la troisième loi de Kepler n'est pas vérifiée dans le cas de l'étude du mouvement du satellite SOHO autour du Soleil.

On cherche désormais à comprendre pourquoi, dans le cas de l'étude du mouvement du satellite SOHO, la troisième loi de Kepler n'est pas vérifiée.

Q4. Reproduire sur la copie le schéma de la figure 1 ci-dessus et y représenter qualitativement les forces gravitationnelles $\vec{F}_{S/SOHO}$ et $\vec{F}_{T/SOHO}$ exercées respectivement par le Soleil sur le satellite et la Terre sur le satellite. Ce tracé se fera sans souci d'échelle.

Q5. Compte tenu de la trajectoire du satellite, déterminer laquelle des deux forces $\vec{F}_{S/SOHO}$ et $\vec{F}_{T/SOHO}$ est la plus intense. Justifier précisément la réponse.

Q6. Déterminer la valeur du rapport $\frac{\|\vec{F}_{S/SOHO}\|}{\|\vec{F}_{T/SOHO}\|}$. Commenter.

Q7. Proposer une explication qualitative au fait que la troisième loi de Kepler soit valable dans le cas de l'étude du mouvement des planètes du Système solaire, mais pas dans le cas de l'étude du mouvement du satellite SOHO autour du Soleil.

Q8. Justifier de l'intérêt de placer le satellite SOHO à cet endroit particulier du système Terre-Soleil.

4. SI – Session 2021 – Polynésie

Le programme Artemis est un programme spatial habité de la NASA, l'agence spatiale américaine, dont l'objectif est d'amener un équipage sur le sol lunaire d'ici 2024.

Celui-ci doit déboucher sur une exploration durable sous la forme de l'installation d'un poste permanent sur la Lune.

Source : Wikipédia



Source : Nasa

La partie A s'intéressera à la mise en place d'un satellite de télécommunication autour de la Lune et la partie B analysera l'alunissage d'un module lunaire.

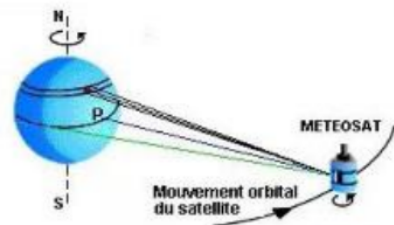
A- Étude d'un satellite de télécommunication

L'étude ne portera que sur un seul satellite dont l'orbite autour de la Lune sera considérée comme circulaire. On négligera l'influence de la Terre sur le mouvement du satellite.

Analogie avec les satellites terrestres

« L'orbite des satellites géostationnaires se trouve dans le équatorial de la Terre à une altitude de près de 36 000 km. ce fait, ils tournent à la même vitesse angulaire que la Terre. Ils sont donc fixes par rapport à un observateur sur la Terre et voient ainsi toujours le même disque terrestre. »

Source : <http://education.meteofrance.fr/>



plan
De
situé

Données :

- Trajectoire circulaire du centre du satellite (**S**) autour du centre de la Lune (**L**)

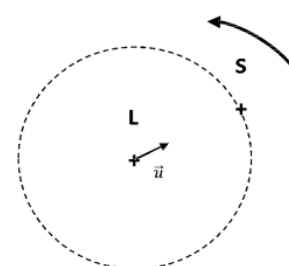
\vec{u} est le vecteur unitaire orienté de L vers S

- Force d'interaction gravitationnelle entre un objet A de masse M_A et un objet B de masse M_B distants de d_{AB}

$$\vec{F}_{A/B} = -\vec{F}_{B/A} = -G \cdot \frac{M_A \cdot M_B}{d_{AB}^2} \cdot \vec{u}_{A/B}$$

Le vecteur unitaire $\vec{u}_{A/B}$ est orienté de A vers B.

Sens de rotation du satellite



1. Proposer une définition de ce que pourrait être un satellite lunostationnaire en comparant sa période de révolution autour de la Lune à la période de rotation de la Lune sur elle-même
2. Représenter la force d'interaction gravitationnelle $\vec{F}_{L/S}$ exercée par la Lune sur ce satellite sans souci d'échelle sur le document réponse à rendre avec la copie
3. Établir l'expression de cette force $\vec{F}_{L/S}$ en fonction de G , M_S , M_L , d_{LS} et \vec{u}

Description du mouvement du satellite

Données :

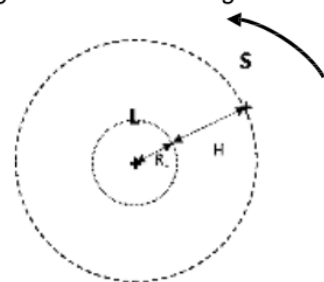
- Période de rotation de la lune sur elle-même : $T = 27,3$ jours
- Constante de gravitation universelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2.\text{kg}^{-2}$
- Masse de la Lune : $M_L = 7,34 \times 10^{22} \text{ kg}$
- Rayon de la Lune : $R_L = 1,74 \times 10^6 \text{ m}$
- Périmètre d'un cercle : $P = 2\pi R$

- À l'aide de la deuxième loi de Newton, établir l'expression du vecteur accélération \vec{a}_G du centre du satellite en fonction de G , M_L , d_{LS} et \vec{u} .
- Représenter le vecteur unitaire tangentiel \vec{T} et le vecteur unitaire normal \vec{N} du repère de Frenet sur le document réponse à rendre avec la copie.
- Citer l'expression des coordonnées du vecteur accélération \vec{a}_G dans le repère de Frenet, dans le cas d'un mouvement circulaire.
- En déduire l'expression de l'accélération \vec{a}_G dans le repère de Frenet en fonction de G , M_L , d_{LS} et \vec{N} .
- Justifier que la vitesse V du satellite est constante et montrer que son expression dans le repère de Frenet en fonction de G , M_L et d_{LS} est :

$$v = \sqrt{\frac{G.M_L}{d_{LS}}}$$

Dans la question suivante, la qualité de la rédaction, la structuration de l'argumentation et la rigueur des calculs seront valorisées.

- Démontrer que pour que le satellite soit fixe par rapport à la Lune, il doit être à une altitude $H = 8,67 \times 10^7$ m par rapport à la surface de la Lune.



B- Alunissage

Le vaisseau lunaire HLS (Human Landing System) a pour rôle de déposer deux astronautes sur le sol lunaire. À la surface, il sert d'habitat durant la mission d'une durée initiale d'environ une semaine puis il ramène l'équipage à la station spatiale.



Source : Wikipédia

Source : NASA

Une simulation de l'alunissage a été menée sur un simulateur de mouvement vertical (VMS). Cette simulation commence à 152,4 m d'altitude avec une vitesse horizontale de norme égale à $18,3 \text{ m.s}^{-1}$ et une vitesse verticale de norme égale à $4,9 \text{ m.s}^{-1}$ (voir les conditions initiales de la figure 1).

La trajectoire de référence d'une durée de 95 s, permet de poser le module sur le sol lunaire en toute sécurité.

Une trajectoire incontrôlée d'une durée de 30 s qui conduirait à un impact sur le sol lunaire mettant un terme à la mission est représentée figure 1.

Source : AIAA Space 2008 Conference ,9 – 11 September 2008, San Diego, CA

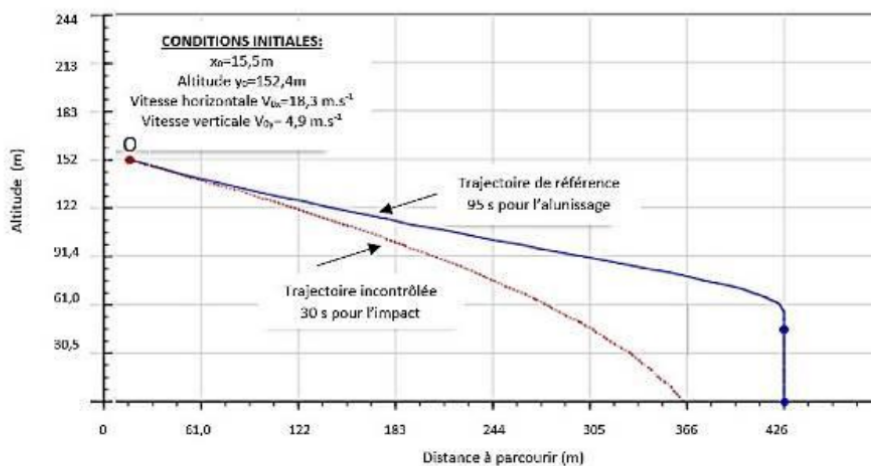


Figure 1. Trajectoires de référence et incontrôlée d'un atterrisseur lunaire dans le plan vertical

Source : D'après AIAA Space 2008 Conference ,9 – 11 September 2008, San Diego, CA

Données :

- Valeur du champ de pesanteur sur la lune : $g_L = 1,6 \text{ m.s}^{-2}$
- Équations horaires d'une chute libre dans un champ de pesanteur uniforme avec un vitesse initiale \vec{v}_0 non nulle :

$$x(t) = v_{0x} \cdot t + x_0 \quad (1) \quad \text{et} \quad y(t) = -\frac{1}{2} \cdot g_L \cdot t^2 - v_{0y} \cdot t + y_0 \quad (2)$$

v_{0x} : norme de la vitesse horizontale et v_{0y} : norme de la vitesse verticale

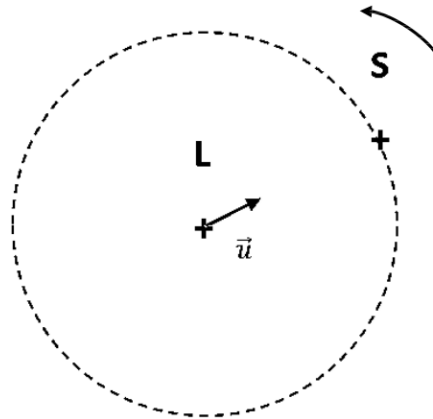
10. Sur le document réponse à rendre avec la copie, représenter au point O, de coordonnées x_0 et y_0 , les vecteurs vitesse horizontale \vec{v}_{0x} et vitesse verticale \vec{v}_{0y} sans souci d'échelle. Représenter également le vecteur champ de pesanteur \vec{g}_L .

11. Justifier le signe négatif ou positif de chacun des trois termes de l'expression :

$$y(t) = -\frac{1}{2} \cdot g_L \cdot t^2 - v_{0y} \cdot t + y_0$$

12. À l'aide de l'équation horaire (1) et de la figure 1 calculer la durée t de descente de l'alunisseur s'il était en chute libre. Indiquer si l'alunisseur dans sa trajectoire incontrôlée est ou pas en chute libre.

Sens de rotation du satellite



Partie B : Question 10.

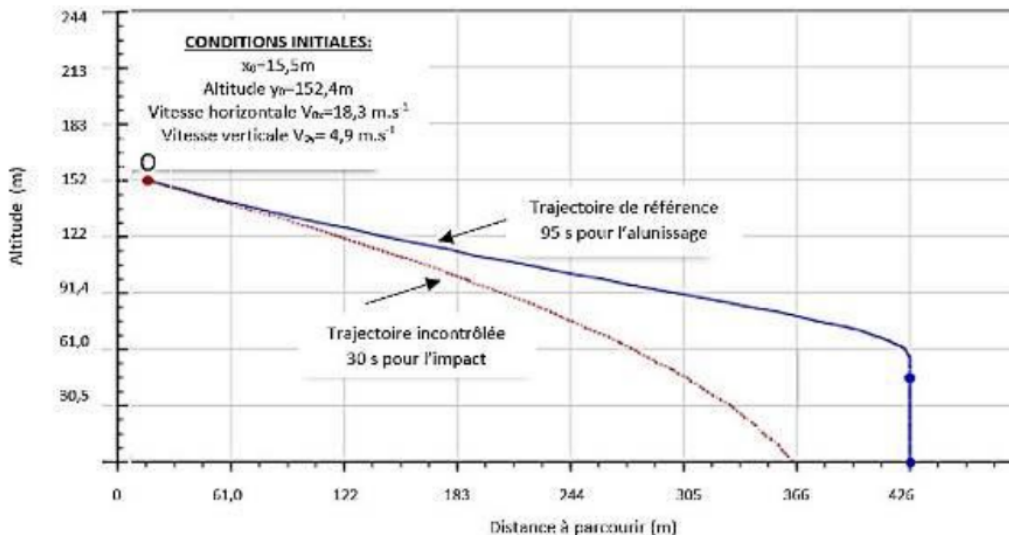


Figure 1. Trajectoire de référence et incontrôlée d'un atterrisseur lunaire dans le plan vertical